

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-244528

(43)Date of publication of application : 07.09.2001

(51)Int.Cl. H01S 3/06
 G02F 1/35
 H01S 3/10
 H04J 14/00
 H04J 14/02
 H04B 10/08
 H04B 10/17
 H04B 10/16

(21)Application number : 2000-051050

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 28.02.2000

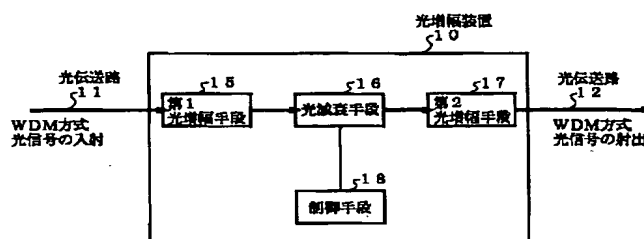
(72)Inventor : SEKIYA MOTOYOSHI
TOMOFUJI HIROAKI

(54) LIGHT AMPLIFICATION DEVICE, COMPOSITE LIGHT AMPLIFICATION DEVICE AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light amplification device, a composite light amplification device and an optical communication system where they are used, which enable long-haul transmission by improving the optical signal-to-noise ratio.

SOLUTION: A light amplification device 10 amplifies light projected to an optical transmission path 12 by gain wavelength characteristics which almost compensates loss wavelength characteristics of the optical transmission path 12. Accordingly, loss wavelength characteristics of the optical transmission path 12 such as transmission loss, stimulated Raman scattering or the like generated in the optical transmission path 12 can be compensated. Therefore, when WDM method optical signal is amplified, the optical signal-to-noise ratio of each channel can be made almost the same after transmission. In an optical transmission system where such an optical amplifier is used, replay distance can be made long in this way.



11, 12 : Optical transmission line
 10 : light amplification device
 15 : first optical amplifier
 16 : optical attenuator
 17 : second optical amplifier
 18 : controller

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-244528

(P2001-244528A)

(43) 公開日 平成13年9月7日(2001.9.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B 2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 K 0 0 2
H 0 4 J 14/00		H 0 4 B 9/00	E
14/02			K

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-51050(P2000-51050)

(22) 出願日 平成12年2月28日(2000.2.28)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 関屋 元義

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 友藤 博朗

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺 (外1名)

最終頁に続く

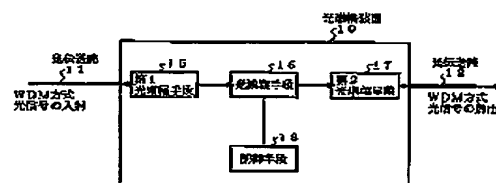
(54) 【発明の名称】 光増幅装置、複合光増幅装置および光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、光信号対雑音比を改善して長距離伝送を可能にする光増幅装置、複合光増幅装置およびこれらの装置を用いた光通信システムに関する。

【解決手段】 本発明にかかる光増幅装置10は、光伝送路12へ射出される光を光伝送路12が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅する。このため、光伝送路12で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱などの光伝送路12の損失波長特性を補償することができるので、WDM方式光信号を増幅した場合に、伝送後に各チャネルの光信号対雑音比をほぼ同一にすることができる。したがって、このような光増幅装置を使用する光通信システムでは、中継間隔を長距離化することができる。

図1は本発明の光増幅装置10の構成を示すブロック図である。



(2)

特開2001-244528

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光伝送路へ射出される光を前記光伝送路が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅することを特徴とする光増幅装置。

【請求項2】 光伝送路から入射される光を前記光伝送路が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅することを特徴とする光増幅装置。

【請求項3】 光を増幅する第1光増幅手段と、
該第1光増幅手段で増幅された光を減衰する光源減手段と、

該光源減手段で減衰された光を増幅して光伝送路に射出する第2光増幅手段と、

前記光減衰手段の減衰量を該光増幅装置の利得波長特性が前記光伝送路の損失波長特性をほぼ補償するように調整する制御手段とを備えることを特徴とする光増幅装置。

【請求項4】 光伝送路から入射される光を増幅する第1光増幅手段と、

該第1光増幅手段で増幅された光を減衰する光源減手段と、

該光源減手段で減衰された光を増幅する第2光増幅手段と、

前記光減衰手段の減衰量を該光増幅装置の利得波長特性が前記光伝送路の損失波長特性をほぼ補償するように調整する制御手段とを備えることを特徴とする光増幅装置。

【請求項5】 請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとの差分に応じて求められることを特徴とする光増幅装置。

【請求項6】 複数の光信号を多重された波長分割多重方式光信号を増幅する請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとの差分に応じて求められることを特徴とする光増幅装置。

【請求項7】 請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、前記光伝送路の伝送路長に応じて求められることを特徴とする光増幅装置。

【請求項8】 請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、前記光伝送路に入射される光の平均光パワーと射出される光の平均光パワーとの差分から前記光伝送路の伝送路長を求めて該求めた伝送路長に応じて求められることを特徴とする

2

光増幅装置。

【請求項9】 複数の光信号を多重された波長分割多重方式光信号を増幅する請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、前記光伝送路の伝送路長、前記波長分割多重方式光信号の多重数および前記光伝送路に入射される光の光パワーに応じて求められることを特徴とする光増幅装置。

10 【請求項10】 複数の光信号を多重された波長分割多重方式光信号を増幅する請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、前記光伝送路に入射される光の平均光パワーと射出される光の平均光パワーとの差分から前記光伝送路の伝送路長を求め、求めた前記伝送路長、前記波長分割多重方式光信号の多重数および前記光伝送路に入射される光の光パワーに応じて求められることを特徴とする光増幅装置。

20 【請求項11】 複数の光信号を多重された波長分割多重方式光信号を生成する光送信装置と、前記波長分割多重方式光信号を受信・処理する光受信装置と、前記光送信装置と前記光受信装置との間で前記波長分割多重方式光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路に挿入され前記波長分割多重方式光信号を増幅する光中継装置とを備える光通信システムにおいて、

前記光送信装置、光中継装置および光受信装置は、請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の光増幅装置を備えることを特徴とする光通信システム。

30 【請求項12】 光を増幅することができる波長帯域が互いに異なる複数の光増幅部の出力を波長多重して光伝送路に出力する複合光増幅装置において、

前記複数の光増幅部は、それぞれ増幅すべき光を前記光伝送路が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅する光増幅部であることを特徴とする複合光増幅装置。

【請求項13】 光伝送路からの光を互いに異なる複数の波長帯域ごとに分離して該波長帯域に対応する複数の光増幅部で前記波長帯域ごとに増幅する複合光増幅装置において、

前記複数の光増幅部は、それぞれ増幅すべき光を前記光伝送路が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅する光増幅部であることを特徴とする複合光増幅装置。

【請求項14】 請求項12または請求項13に記載の複合光増幅装置において、

前記複数の光増幅部のそれぞれは、
光を増幅する第1光増幅手段と、
該第1光増幅手段で増幅された光を減衰する光源減手段と、

50

(3)

特開2001-244528

3

4

該光源減手段で減衰された光を増幅する第2光増幅手段と、

前記光減衰手段の減衰量を該光増幅装置の利得波長特性が前記光伝送路の損失波長特性をほぼ補償するように調整する制御手段とを備えることを特徴とする複合光増幅装置。

【請求項15】 複数の光信号を多重された波長分割多重方式光信号を増幅する請求項10ないし請求項14のいずれか1項に記載の複合光増幅装置において、

前記損失波長特性は、前記光伝送路の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、前記光伝送路に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとに応じて求められることを特徴とする複合光増幅装置。

【請求項16】 複数の光信号を多重された波長分割多重方式光信号を生成する光送信装置と、前記波長分割多重方式光信号を受信・処理する光受信装置と、前記光送信装置と前記光受信装置との間で前記波長分割多重方式光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路に挿入され前記波長分割多重方式光信号を増幅する光中継装置とを備える光通信システムにおいて、前記光送信装置、光中継装置および光受信装置は、請求項12ないし請求項15のいずれか1項に記載の複合光増幅装置を備えることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムの中継局や光分岐・挿入装置に使用される光増幅装置において、光伝送路の損失波長特性を補償することによって光信号対雑音比を改善する光増幅装置および複合光増幅装置に関する。そして、これらの装置を用いた光通信システムに関する。将来のマルチメディアネットワークの構築を目指し、超長距離かつ大容量の光通信装置が要求されている。この大容量化を実現する方式として、波長分割多重 (Wavelength-division Multiplexing、以下、「WDM」と略記する。)方式が、光ファイバの広帯域・大容量性を有効利用できるなどの有利な点から研究開発が進められている。

【0002】

【従来の技術】WDM方式光信号を採用する光通信システムは、互いに波長の異なる複数の光信号を波長分割多重してなるWDM方式光信号を生成して送り出す光送信局と、送り出されたWDM方式光信号を伝送する光伝送路と、伝送されたWDM方式光信号を受ける光受信局とを備える。さらに、伝送距離を長くするために光増幅器を有する中継局が光伝送路の途中に1個または複数個設けられる。

【0003】このような光通信システムにおいて、伝送距離は、中継局における光増幅器の利得波長特性に基づく利得ばらつき (ゲインインバランス) によって制限さ

れる。これは、伝送距離を長距離化するために中継局が縦横接続されると、各中継局における光増幅器で生じる利得傾斜が累積するので、WDM方式光信号における低い光パワーのチャネルにおいては、光信号対雑音比 (optical signal to noise ratio、以下、「光SNR」と略記する。) が劣化し、そして、WDM方式光信号における高い光パワーのチャネルにおいては、非線形光学効果などにより波形が劣化するからである。

【0004】このため、従来は、WDM方式光信号の全チャネルに亘って一定の利得を与えるように光増幅器を制御し、各チャネル間における光パワーの差が最小になるようにしてWDM方式光信号を伝送していた。一方、近年の通信量の増大に対応するため、WDM方式光信号の多重度が増加し広波長帯域化の傾向にある。

【0005】光ファイバなどの光伝送路には損失波長特性が存在し、このような広波長帯域化は、WDM方式光信号における短波長側のチャネルと長波長側のチャネルとの間に従来よりも大きな損失差を与える。例えば、1550nm帯における光ファイバの損失波長特性は、損失係数が -0.0005 dB/nm/km 程度であることが知られている。これによれば、WDM方式光信号の波長帯域幅が25nmであってこのWDM方式光信号を100km伝送する場合では、最長波長側の損失は、最短波長側の損失に対して約1.25dB大きくなる。

【0006】特に、1600nmを越えると光ファイバの損失波長特性は、 -0.0005 dB/nm/km より大きくなり、最長波長側の損失と最短波長側の損失との差は、さらに拡大する。

【0007】そして、光ファイバなどの光伝送路を伝搬する光には、非線形光学現象の1つである誘導ラマン散乱が起こることが知られている。この誘導ラマン散乱は、光伝送路中の光学フォノンとの相互作用によって短波長側の光パワーを長波長側に移行させることから、チャネル間の光パワーが不均一となってチャネル間に光パワーの差を生じさせる。

【0008】この誘導ラマン散乱によって最短波長のチャネルから失われる光パワーは、波長多重数、チャネル間隔および伝送距離などに依存することから、広波長帯域化または伝送距離の長距離化により、最長波長側のチャネルの光パワーと最短波長側のチャネルの光パワーとの差は、さらに拡大する。例えば、WDM方式光信号におけるチャネル間隔、波長多重数 (チャネル数)、伝送距離、1チャネル当たりの送信光パワーをそれぞれ100GHz、32チャネル、100km、+5dBm/cnとした場合では、誘導ラマン散乱による最長波長側のチャネルの光パワーと最短波長側のチャネルの光パワーとの差は、約1dBになる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、利得の波長依存性が最小になるように調整した光増幅器を用いてW

(4)

特開2001-244528

5

6

DM方式光信号を伝送したとしても、WDM方式光信号の広波長帯域化と伝送距離の長距離化によって、最長波長側のチャネルの光パワーと最短波長側のチャネルの光パワーとの間には、上述の光伝送路の損失波長特性と光伝送路の誘導ラマン散乱によって、差が生じるという問題がある。この差は、最長波長側のチャネルと最短波長側のチャネルの間における光SNRの差となって、伝送距離を制限するという問題になる。

【0010】そこで、本発明では、光伝送路の損失波長特性を利用波長特性で補償する光増幅装置および複合光増幅装置を提供することを目的とする。さらに、本発明では、光伝送路の損失波長特性を利用波長特性で補償する光増幅装置および複合光増幅装置を中継局における光増幅器として用いることにより、広波長帯域化および伝送距離の長距離化を可能にする光通信システムを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】以下、課題を解決するための手段について、図面に基いて説明する。図1は、請求項1ないし請求項10に記載の発明の原理構成を示す図である。図2は、請求項1ないし請求項16に記載の発明における利用波長特性と損失波長特性との関係を説明するための図である。図2の横軸は、波長を表し、縦軸は、利得を表す。

【0012】（請求項1）図1において、請求項1に記載の発明では、光伝送路12へ射出される光をこの光伝送路12が持つ損失波長特性をほぼ補償する利用波長特性で増幅する光増幅装置10で構成する。請求項1に記載の発明は、光増幅装置10がある波長帯域に亘る光を射出する場合に、この光における短波長側の損失と長波長側の損失との差を予め補償する発明である。

【0013】この損失差は、この光が射出される光伝送路12を伝送する間に光伝送路12の損失波長特性によって生じるものである。よって、上述の光増幅装置10では、光増幅装置10の利得波長特性を光伝送路12の損失波長特性とほぼ逆特性にするので、この差を予め補償することができる。すなわち、光増幅装置10の利得波長特性を波長（X軸）-利得（Y軸）平面にグラフ化した場合に、光増幅装置10の利得波長特性は、X軸に平行な或る直線に対し光伝送路12の損失波長特性の形状とほぼ対称な形状となっている。

【0014】この原理は、以下に述べる請求項3ないし請求項16に記載の発明においても同様である。図2は、例えば、C-bandおよびL-bandの場合について記載したものである。図2（a）は、C-bandの利得補償の場合であり、図2（b）は、L-bandの利得補償の場合である。光伝送路12の損失は、伝送損失（WDL）および誘導ラマン散乱による損失のみを考慮して計算した。

【0015】図2（a）および（b）において、上の実

線は光増幅装置10の利得波長特性を示し、下の実線はWDLおよび誘導ラマン散乱による光伝送路12の損失波長特性を示す。そして、上の破線は誘導ラマン散乱による光伝送路12の損失波長特性、下の破線はWDLによる光伝送路12の損失波長特性である。図2（a）および図2（b）に示すように、光増幅装置10の利得波長特性は、X軸に平行な或る直線に対し光伝送路12の損失波長特性の形状とほぼ対称な形状となっている。

【0016】（請求項2）図1において、請求項2に記載の発明では、光伝送路11から入射される光をこの光伝送路11が持つ損失波長特性をほぼ補償する利用波長特性で増幅する光増幅装置10で構成する。請求項2に記載の発明は、ある波長帯域に亘る光が光増幅装置10に入射する場合に、この光における短波長側の損失と長波長側の損失との差を補償する発明である。

【0017】この損失差は、この光が光伝送路11を伝送する間に光伝送路11の損失波長特性によって生じるものである。よって、上述の光増幅装置10では、図2に示すように、光増幅装置10の利得波長特性を光伝送路11の損失波長特性とほぼ逆特性にするので、この差を補償することができる。

（請求項3および請求項4）図1において、請求項3に記載の発明では、光を増幅する第1光増幅手段15と、第1光増幅手段15で増幅された光を減衰する光源減手段16と、光減手段16で減衰された光を増幅して光伝送路12に射出する第2光増幅手段17と、光源減手段16の減衰量を光増幅装置10の利得波長特性が光伝送路12の損失波長特性をほぼ補償するように調整する制御手段18とを備えて構成する。

【0018】図1において、請求項4に記載の発明では、光伝送路11から入射される光を増幅する第1光増幅手段15と、第1光増幅手段15で増幅された光を減衰する光減手段16と、光減手段16で減衰された光を増幅する第2光増幅手段17と、光減手段16の減衰量を光増幅装置10の利得波長特性が光伝送路11の損失波長特性をほぼ補償するように調整する制御手段18とを備えて構成する。

【0019】まず、光増幅手段の波長利得特性について説明する。図3は、光増幅手段の利得と利得波長特性との関係を示す図である。ここで、図3の横軸は、波長を表し、縦軸は、光増幅手段における出力光の光パワーを表す。図3において、中央の曲線で示すように、光増幅手段の利得Gaをある利得Gafとすると、利得波長特性は、WDM方式光信号を増幅する増幅波長帯域において平坦になる。

【0020】そして、上段の曲線で示すように、光増幅手段の利得Gaを利得Gafより大きくすると、利得波長帯域は、WDM方式光信号を増幅する増幅波長帯域において負の傾斜（ $dGa/d\lambda < 0$ ）となる。また、この傾斜の大きさ（ $|dGa/d\lambda|$ ）は、利得Gaに依存

(5)

特開2001-244528

7

8

する。一方、下段の曲線で示すように、光増幅手段の利得 G_a を利得 G_{af} より小さくすると、利得波長帯域は、WDM方式光信号を増幅する増幅波長帯域において正の傾斜($dG_a/d\lambda > 0$)となる。また、この傾斜の大きさ($|dG_a/d\lambda|$)は、利得 G_a に依存する。

【0021】上述の構成において、第1光増幅手段15の利得と第2光増幅手段17の利得の合計が一定であるならば、ほぼ同じ利得波長特性となる。そして、光減衰手段16は、その減衰量にかかわらず、ほぼ平坦な損失波長特性である。

【0022】よって、上述の構成では、所要の傾斜になるように第1光増幅手段15および第2光増幅手段17の利得の和を選択する。そして、この利得の和の値を維持しつつ、光伝送路12への各チャネルの出力の平均値は一定に保つことが好ましいため、光増幅装置10が所要の出力になるように光減衰手段16の減衰量を調整する。

【0023】一方、傾斜量を変更する場合は、傾斜量の変更分に対応するだけ、第1光増幅手段15および第2光増幅手段17の利得の和を変更する。さらに、光増幅装置10の出力を一定に保つように光減衰手段16の減衰量を調整する。この利得の和の変更は、第1光増幅手段15および第2光増幅手段17のいずれか一方のみを変更してもよいし、あるいは、この変更分を或る比率で第1光増幅手段15および第2光増幅手段17にそれぞれ配分してもよい。

【0024】このように上述の構成において、光増幅装置10は、その利得波長特性を所望の特性に変更することができる。したがって、請求項3および請求項4に記載の発明にかかる光増幅装置10では、所定の波長帯域において図2に示すように光増幅装置10の利得波長特性を光伝送路11、12の損失波長特性とはほぼ逆特性にすることができるので、損失差を補償することができる。

【0025】(請求項5および請求項6)図1において、請求項5に記載の発明では、請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置10において、損失波長特性は、光伝送路11、12に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとの差分に応じて求める。

【0026】図1において、請求項6に記載の発明では、複数の光信号を多重されたWDM方式光信号を増幅する請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光*

$$D_j = \sum_i \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_j} \right) \left(\frac{P_i \Delta f \gamma_p}{1.5 \times 10^6} \right) \left(\frac{L_{eff}}{2 A_{eff}} \right) \times (j-i) \quad (3)$$

と表すことができる。なお、(式2)および(式3)では、光伝送路11、12のラマン利得係数を三角形近似した。

【0030】ここで、短波長側から番号をつけた場合のチャネル番号を*i*とする場合、 λ_i 、 P_i は、それぞれ

*増幅装置10において、損失波長特性は、光伝送路1

1、12に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとの差分に応じて求める。光伝送路11、12の損失波長特性を生じさせる主な原因は、伝送損失および誘導ラマン散乱である。請求項5および請求項6に記載の発明では、この損失波長特性を直線近似し、この近似した直線の傾きを光伝送路11、12に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとの差分から求める。

【0027】そして、光増幅装置10の利得波長特性をこの求めた傾きと逆の傾きにすることによって光伝送路11、12の損失波長特性を補償する。逆の傾きとは、求めた傾きと絶対値が等しく、符号が反対の傾きである。

(請求項7ないし請求項10)まず、請求項7ないし請求項10に記載の発明における光伝送路11、12の伝送損失と誘導ラマン散乱による損失波長特性の求め方を示す。

【0028】初めに、光伝送路11、12の伝送損失 ΔT_{fib} を求める。光伝送路11、12の伝送損失 ΔT_{fib} は、波長 λ における損失波長特性 T_{fib} の微分係数を($dT_{fib}/d\lambda$)とおき、1次近似すると、

$$\Delta T_{fib} = (n-1) \Delta \lambda L_{span} \frac{dT_{fib}}{d\lambda} \quad (1)$$

と表すことができる。ここで、 n は、WDM方式光信号の多重数(チャネル数)である。 $\Delta \lambda$ は、各チャネル間の波長間隔である。 L_{span} は、対象としているWDM方式光信号の伝送距離、すなわち、光伝送路11、12の長さである。

【0029】次に、誘導ラマン散乱 ΔG_{ram} を求める。

[A.R.Chraplyvy: "Optical Power Limits in Multichannel Wavelength-Division-Multiplexed Systems due to Stimulated Raman Scattering", Electronics Letters 19th January 1984 Vol.20]の58頁および59頁を参考にすると、一般に、WDM方式光信号のチャネル*j*が他のすべてのチャネルと誘導ラマン散乱による相互作用をする場合は、誘導ラマン散乱による利得 G_j は、

$$G_j = 1 + D_j \quad (2)$$

【数3】

香目のチャネルの波長、光パワーである。 Δf は、各チャネル間の周波数間隔である。 γ_p は、三角形近似した際のラマン利得係数の最大値であるピーク利得係数である。 A_{eff} は、光伝送路の有効コア断面積である。 L_{eff} は、光伝送路の有効長で光伝送路の損失係数を α と

(6)

特開2001-244528

9

10

すれば、 $L_{\text{eff}} = (1 - \exp(-\alpha \times L_{\text{span}})) / \alpha$ である。

【0031】また、多重数 n （チャネル数 n ）のWDM方式光信号において、チャネル1とチャネル n との間の差 ΔG_{ram} は、

$$\Delta G_{\text{ram}} = G_1 - G_n \quad (4)$$

と表すことができる。よって、光伝送路11、12の誘導ラマン散乱による差は、(式2)ないし(式4)を用いて求められる。

$$D_1 = \left(\frac{n(n-1)}{2} \right) \times \left(\frac{P_{\Delta f y p}}{1.5 \times 10^3} \right) \times \left(\frac{L_{\text{eff}}}{2 A_{\text{eff}}} \right) \quad (5)$$

と表すことができる。

【0033】さらに、最短波長側のチャネルと最長波長側のチャネルとが受け取るエネルギー比が等しいと仮定すると、これら最短波長側のチャネルと最長波長側のチャネルとの間における伝送後の光パワーの差は、

$$\Delta G_{\text{ram}} = 10 \log \left| \frac{1 + D_1}{1 - D_1} \right| \quad (7)$$

と近似することができる。

$$\Delta G_{\text{ain}} = G_{\text{ain}}(n) - G_{\text{ain}}(1) = \Delta L_{\text{oss}} \quad (8)$$

が成り立つようにすればよい。

【0035】したがって、 ΔL_{oss} を最短波長側のチャネルと最長波長側のチャネルとの間の波長差 $(\lambda(n) - \lambda(1))$ で割った傾き SL 、すなわち、

$$SL = \frac{\Delta L_{\text{oss}}}{\lambda(n) - \lambda(1)} \quad (10)$$

で表される傾き SL になるように光増幅装置10の利得波長特性 ΔG_{ain} の傾きを調整すればよい。

【0036】そこで、図1において、請求項7に記載の発明では、請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置10において、損失波長特性は、光伝送路11、12の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、損失波長特性を光伝送路11、12の伝送路長に応じて求める。上述の(式1)、(式3)および(式6)から分かるように、伝送損失 ΔT_{fb} および誘導ラマン散乱 ΔG_{ram} は、ともに伝送路長に関係する L_{span} 、 L_{eff} の関数である。このため、光伝送路11、12の損失波長特性 ΔL_{oss} をその伝送距離から(式1)、(式2)、(式3)、(式4)および(式8)の組み合わせによって、または、(式1)、(式5)、(式6)、(式7)および(式8)の組み合わせによって求めることができる。

【0037】そして、この求めた ΔL_{oss} から傾き SL を求め、光増幅装置10の傾きを調整すればよい。図1において、請求項8に記載の発明では、請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置10において、損失波長特性は、光伝送路11、12の伝送損失

*【0032】一方、WDM方式光信号のチャネル1が失う光パワーは、

$$G_1 = 1 + D_1 \quad (5)$$

と表すことができる。また、(式3)において、WDM方式光信号のすべてのチャネルが誘導ラマン散乱を受ける周波数帯域にあって、各チャネルの光パワー P_i がすべて等しい P である場合では、 $(\lambda_i / \lambda_i) = 1$ と近似すると、(式3)は、

$$\Delta L_{\text{oss}} = \Delta T_{\text{fb}} - \Delta G_{\text{ram}} \quad (8)$$

【0034】光伝送路11、12の損失波長特性 ΔL_{oss} は、伝送損失 ΔT_{fb} と誘導ラマン散乱 ΔG_{ram} とによるから、

$$\Delta L_{\text{oss}} = \Delta T_{\text{fb}} - \Delta G_{\text{ram}} \quad (8)$$

と表すことができる。この損失波長特性を光増幅装置10の利得波長特性 ΔG_{ain} で補償すればよいから、

$$\Delta G_{\text{ain}} = \Delta L_{\text{oss}} \quad (9)$$

および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、光伝送路11、12に入射される光の平均光パワーと射出される光の平均光パワーとの差分から光伝送路11、12の伝送路長を求めてこの求めた伝送路長に応じて損失波長特性を求める。

【0038】光伝送路11、12の伝送路長が未知の場合に、光伝送路11、12に入射される光の平均光パワーと射出される光の平均光パワーとの差分を光伝送路11、12の損失係数で割って伝送路長を求め、この伝送路長から ΔL_{oss} を求める。そして、この求めた ΔL_{oss} から傾き SL を求め、光増幅装置10の傾きを調整すればよい。

【0039】図1において、請求項9に記載の発明では、複数の光信号を多重されたWDM方式光信号を増幅する請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置10において、損失波長特性は、光伝送路11、12の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、損失波長特性を光伝送路11、12の伝送路長、WDM方式光信号の多重数（チャネル数）および光伝送路11、12に入射される光の光パワーに応じて求める。

【0040】損失波長特性 ΔL_{oss} は、伝送路長、多重数および入射される光パワーをそれぞれ(式6)の L_{eff} 、 n および P に代入し、(式1)、(式5)、(式6)、(式7)および(式8)の組み合わせによって求めることができる。そして、この求めた ΔL_{oss} から傾き SL を求め、光増幅装置10の傾きを調整すればよい。

(7)

特開2001-244528

11

【0041】図1において、請求項10に記載の発明では、複数の光信号を多重されたWDM方式光信号を増幅する請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光増幅装置10において、損失波長特性は、光伝送路1

1、12の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、光伝送路11、12に入射される光の平均光パワーと射出される光の平均光パワーとの差分から光伝送路11、12の伝送路長を求めて損失波長特性をこの求めた伝送路長、WDM方式光信号の多重数および光伝送路11、12に入射される光の光パワーに応じて求める。

【0042】光伝送路11、12の伝送路長が未知の場合に、光伝送路11、12に入射される光の平均光パワーと射出される光の平均光パワーとの差分を光伝送路11、12の損失係数で割って伝送路長を求め、この伝送路長から ΔL_{oss} を求める。そして、この求めた ΔL_{oss} から傾きSLを求め、光増幅装置10の傾きを調整すればよい。

【0043】請求項1、請求項3、および、請求項5ないし請求項10に記載の発明において、以上説明したように光増幅装置10を調整すれば、光伝送路11から光増幅装置10に入射される光をほぼ平坦にすることができる。このため、入射される光がWDM方式光信号である場合には、各チャネル間の光SNRをほぼ等しくすることができる。よって、より長距離伝送が可能となる。

【0044】また、請求項2、および、請求項4ないし請求項10に記載の発明において、以上説明したように光増幅装置10を調整すれば、光増幅装置10から光伝送路12に射出される光を伝送後にほぼ平坦にすることができる。このため、射出される光がWDM方式光信号である場合には、伝送後における各チャネル間の光SNRをほぼ等しくすることができる。よって、より長距離伝送が可能となる。

【0045】（請求項11）請求項11に記載の発明では、複数の光信号を多重されたWDM方式光信号を生成する光送信装置と、WDM方式光信号を受信・処理する光受信装置と、光送信装置と光受信装置との間でWDM方式光信号を伝送する光伝送路と、光伝送路に挿入されWDM方式光信号を増幅する光中継装置とを備える光通信システムにおいて、光送信装置、光中継装置および光受信装置は、請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の光増幅装置を備えて構成する。

【0046】このような光通信システムでは、光増幅装置によって各チャネル間の光SNRをほぼ等しくすることができる。このため、誤り率の少ない長距離伝送が可能となる。

（請求項12ないし請求項15）図4は、請求項12ないし請求項15に記載の発明の原理構成を示す図である。

【0047】図4において、請求項12に記載の発明で

12

は、光を増幅することができる波長帯域が互いに異なる複数の光増幅部21の出力を波長多重して光伝送路26に出力する複合光増幅装置20において、複数の光増幅部21は、それぞれ増幅すべき光を光伝送路26が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅することで構成する。

【0048】図4において、請求項13に記載の発明では、光伝送路25からの光を互いに異なる複数の波長帯域ごとに分離して波長帯域に対応する複数の光増幅部21で波長帯域ごとに増幅する複合光増幅装置20において、複数の光増幅部21は、それぞれ増幅すべき光を光伝送路25が持つ損失波長特性をほぼ補償する利得波長特性で増幅することで構成する。

【0049】図4において、請求項14に記載の発明では、請求項12または請求項13に記載の複合光増幅装置において、複数の光増幅部21のそれぞれは、光を増幅する第1光増幅手段35と、第1光増幅手段35で増幅された光を減衰する光減衰手段36と、光減衰手段36で減衰された光を増幅する第2光増幅手段37と、光減衰手段36の減衰量を光増幅部21の利得波長特性が光伝送路25、26の損失波長特性をほぼ補償するように調整する制御手段38とを備えて構成する。

【0050】図4において、請求項15に記載の発明では、複数の光信号を多重されたWDM方式光信号を増幅する請求項10ないし請求項14のいずれか1項に記載の複合光増幅装置20において、損失波長特性は、光伝送路25、26の伝送損失および誘導ラマン散乱による損失波長特性であって、光伝送路25、26に入射される光のスペクトルと射出される光のスペクトルとに応じて求められる。

【0051】複数の光増幅部21に応じて複数の波長帯域に亘って光信号が設定されるWDM方式光信号においても（式1）ないし（式10）が成立するので、前述と同様に補償量SLを求めることができる。このため、光増幅部21を補償量SLによって調整することにより光伝送路25、26の損失波長特性を補償することができる。

【0052】（請求項16）請求項16に記載の発明では、複数の光信号を多重されたWDM方式光信号を生成する光送信装置と、WDM方式光信号を受信・処理する光受信装置と、光送信装置と光受信装置との間でWDM方式光信号を伝送する光伝送路と、光伝送路に挿入されWDM方式光信号を増幅する光中継装置とを備える光通信システムにおいて、光送信装置、光中継装置および光受信装置は、請求項12ないし請求項15のいずれか1項に記載の複合光増幅装置を備えて構成する。

【0053】このような光通信システムでは、複合光増幅装置を用いるので、多重度の高いWDM方式光信号を伝送することができ、さらに、複合光増幅装置によって各チャネル間の光SNRをほぼ等しくすることができ

(8)

特開2001-244528

13

る。このため、大容量で誤り率の少ない長距離伝送が可能となる。

【0054】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

【0055】（第1の実施形態の構成）第1の実施形態は、請求項1、請求項3、請求項7、請求項9および請求項11に記載の発明に対応する光通信システムの実施形態である。第1の実施形態においては、2端局間を32波のWDM方式光信号が本発明にかかる複数の光増幅装置で順次に増幅されつつ伝送される。

【0056】図5は、第1の実施形態の光通信システムの構成とWDM方式光信号のスペクトルを示す図である。この図5において、(a)は、第1の実施形態の光通信システムの構成を示す。(b)は、第1の実施形態の光通信システムにおいて、本発明にかかる光増幅装置を使用した場合の各光増幅装置における入力スペクトルおよび出力スペクトルを示す。また、本発明にかかる光増幅装置と従来の光増幅装置とを比較するために、

(c)は、第1の実施形態と同様な構成の光通信システムにおいて、従来の光増幅装置を使用した場合の各光増幅装置における入力スペクトルおよび出力スペクトルを示す。なお、(b)および(c)の入力スペクトルにおける長尺の破線は、各光増幅装置90、91、92におけるWDM方式光信号の入力平均光パワーを示し、

(b)および(c)の出力スペクトルにおける長尺の破線は、各光増幅装置90、91、92におけるWDM方式光信号の出力平均光パワーを示す。

【0057】図6は、第1の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。図7は、第1の実施形態の光通信システムにおいて、中継局が4個の場合のレベルダイヤおよび光SNRとを示す図である。図8は、従来の光増幅装置を用いた中継局が4個の場合のレベルダイヤおよび光SNRとを示す図である。

【0058】これら図7および図8において、(a)は、レベルダイヤを示し、縦軸は、各チャネルの光パワー(dB)であり、横軸は、中継局1を「0」とする距離(km)である。(b)は、光SNRを示し、縦軸は、光SNR(dB)であり、横軸は、中継局1を「0」とする距離(km)である。また、各図において、「■」はチャネル1であり、「◆」はチャネル17であり、そして、「▲」はチャネル32の場合をそれぞれ表している。

【0059】図5において、第1の実施形態における光通信システムは、WDM方式光信号を生成して送り出す光送信局61と、送り出されたWDM方式光信号を伝送する光伝送路62と、伝送されたWDM方式光信号を受ける光受信局64とを備える。そして、光増幅装置91を有する中継局63が光伝送路62の途中に複数個設けられている。

14

【0060】光送信局61は、光送信器(optical sender、以下、「OS」と略記する。)71と光マルチプレクサ(optical multiplexer、以下、「MUX」と略記する。)72と光増幅装置90とからなる。OS71は、互いに異なる波長である光信号をそれぞれ生成する。OS71は、例えば、所定の波長のレーザ光を発振する半導体レーザと、送信すべき情報でこの入射されたレーザ光を変調するマッハツェンダ干渉型光変調器(Mach-Zehnder interferometer type optical modulator)などの外部変調器とから構成することができる。

【0061】MUX72は、OS71からこのMUX72に入射される複数の光信号を波長多重し、WDM方式光信号を生成する。MUX72としては、例えば、干渉フィルタの1つである誘電体多層膜フィルタやアレイ導波路格子形光合分波器(arrayed waveguide grating)などを利用することができる。後述するDEMUX77も同様である。

【0062】光増幅装置90は、MUX72からこの光増幅装置90に入射されるWDM方式光信号を増幅して光伝送路62へ射出する本発明にかかる光増幅装置である。この光増幅装置90の構成は、後述する。中継局63は、前段の光送信局61あるいは中継局63から光伝送路62によって伝送されたWDM方式光信号を本発明にかかる光増幅装置91で増幅する。そして、中継局63は、次段の中継局63あるいは光受信局64へWDM方式光信号を送信すべくWDM方式光信号を光伝送路62へ射出する。この光増幅装置91の構成は、後述する。

【0063】光受信局64は、光増幅装置92と光デマルチプレクサ(optical demultiplexer、以下、「DEMUX」と略記する。)77と光受信器(optical receiver、以下、「OR」と略記する。)78とからなる。光増幅装置92は、前段の中継局63-mから光伝送路62-m+1を介してこの光受信局64に入射されるWDM方式光信号を増幅する本発明にかかる光増幅装置である。この光増幅装置92の構成は、後述する。

【0064】DEMUX77は、光増幅装置92からこのDEMUX77に入射されるWDM方式光信号を波長分離し、分離した光信号をそれぞれOR78-1〜78-32に射出する。OR78は、32個用意され、入射される光信号を復調して情報を取り出す。なお、OS71およびOR78の個数は、WDM方式光信号の多重数に対応する。よって、この光通信システムで運用するWDM方式光信号の多重数を変更する場合には、OS71およびOR78の個数は、この多重数に合わせて変更される。

【0065】次に、光増幅装置90、91、92について説明するが、まず、光増幅装置91について説明し、光増幅装置90、92については、光増幅装置91に対する相違する点のみを説明する。図6において、前段の

15

中継局63からのWDM方式光信号は、光増幅装置91内のWDMカブラ101に入射される。

【0066】WDMカブラ101は、入射されたWDM方式光信号をWDM方式光信号の本体部分であるチャンネル1ないしチャンネル32の光信号部分とOSC (optical supervisory channel) とに波長分離する。OSCは、この光通信システムを運用する上で必要な保守情報、状態情報などの情報を通信する監視信号である。OSCは、チャンネル1より短波長側あるいはチャンネル32より長波長側のいずれか一方に設定される。

【0067】WDMカブラ101で波長分離されたOSCは、通過波長帯域の中心波長をOSCの波長に設定された帯域通過光フィルタ (band pass optical filter、以下、「FIL」と略記する。) 121に入射される。FIL121を通過することによって正確にOSCのみを取り出すことができる。FIL121としては、誘電体多層膜フィルタやファイバグレーティングフィルタ (fiber grating filter) などの光フィルタを利用することができる。

【0068】FIL121からの光は、入射する光の光パワーに従う電流を生じるフォトダイオード (以下、「PD」と略記する。) 129に入射され、光電変換される。PD129からの出力は、アナログ信号をデジタル信号に変換するアナログ/デジタル変換器 (以下、「A/D」と略記する。) 131に入力されデジタル信号に変換される。A/D131からの出力は、制御回路145に入力される。

【0069】一方、WDMカブラ101で分離されたチャンネル1ないしチャンネル32のWDM方式光信号は、光分岐結合器 (optical coupler、以下、「CPL」と略記する。) 102に入射される。CPL102は、このWDM方式光信号を2つに分配する。CPL102として、例えば、ハーフミラーなどの微少光学素子形光分岐結合器や溶融ファイバの光ファイバ形光分岐結合器や光導波路形光分岐結合器などを利用することができる。後述する他のCPLも同様である。

【0070】CPL102で分配された一方のWDM方式光信号は、PD122に入射され、光電変換される。このPD122によってWDM方式光信号のエルビウム添加光ファイバ105に対する平均入力光パワーが計測される。PD122の出力は、WDM方式光信号のこの中継局63に対する平均入力光パワーでもある。エルビウム添加光ファイバ (erbium-doped optical fiber、以下、「EDF」と略記する。) 105は、後述される。

【0071】PD122からの出力は、A/D132に入力されデジタル信号に変換される。そして、A/D132からの出力は、自動利得制御回路 (automatic gain controller、以下、「AGC」と略記する。) 141に入力される。また、CPL102で分配された他方のWDM方式光信号は、一方向にのみ光を透過する光ア

(9)

特開2001-244528

16

イソレータ (optical isolator、以下、「ISO」と略記する。) 103に入射される。

【0072】ISO103は、光増幅装置91内における各光部品の接続部などからの反射光が何処までも伝搬するのを防止する。特に、反射光が半導体レーザに戻ってくると、半導体レーザは、位相や振幅のまちまちな反射光に誘起されて、発振モードが変化したり、雑音が発生したりする。このため、ISO102によってこの悪影響を防止するものである。ISO103としては、例えば、45度ずれた状態の2つの偏光子の間にフラダー回転子を配置することによって構成することができる。後述する他のISOも同様である。

【0073】ISO103からのWDM方式光信号は、CPL104に入射される。また、レーザダイオード (laser diode、以下、「LD」と略記する。) 123は、EDF105を励起する波長のレーザ光を発振する。EDF105の励起波長は、いくつか知られているが、WDM方式光信号の波長帯域である1550nm帯を増幅するために、980nmまたは1480nmが選択される。LD123として、例えば、ファブリペロ型レーザ、分布帰還型レーザ、分布ブラッグ反射型レーザなど各種半導体レーザを利用することができる。

【0074】LD123からのレーザ光は、CPL104に入射され、前述のISO103からのWDM方式光信号とCPL104で合波される。この合波されたレーザ光とWDM方式光信号とは、EDF105に入射される。EDF105は、レーザ光によりエネルギーを供給されることによって反転分布を形成し、この状態で増幅すべきWDM方式光信号が入射すると誘導放射を引き起こし、WDM方式光信号を増幅する。EDF105の利得は、LD123からのレーザ光の光パワーに依存し、レーザ光の光パワーが小さいと利得は小さく、レーザ光の光パワーが大きいと利得も大きくなる。

【0075】EDF105からのWDM方式光信号は、ISO106を介して利得等化器 (gain equalizer、以下、「GEQ」と略記する。) 107に入射される。GEQ107は、EDF105の利得波長特性を補償するための光フィルタである。この光フィルタの損失波長特性は、EDF105の利得波長特性とはほぼ同一の形状に合わせられる。

【0076】GEQ107からのWDM方式光信号は、CPL108に入射される。CPL108で分配された一方のWDM方式光信号は、PD124に入射され、光電変換される。このPD124によってWDM方式光信号のEDF105に対する平均出力光パワーが計測される。PD124の出力は、WDM方式光信号の後述する光可変減衰器109に対する平均入力光パワーでもある。

【0077】PD124からの出力は、A/D134に入力されデジタル信号に変換される。そして、A/D

10

20

30

40

50

(10)

特開2001-244528

17

134からの出力は、AGC141に入力される。AGC141は、前述のA/D132からのWDM方式光信号のEDF105に対する平均入力光パワーとこのA/D134からのWDM方式光信号のEDF105に対する平均出力光パワーとから、EDF105の利得を計測する。そして、AGC141は、デジタル信号をアナログ信号に変換するD/A変換器（以下、「D/A」と略記する。）133を介してLD123の駆動電流（注入電流）を増減することによってEDF105の利得を所定の利得に制御する。このEDF105の所定の利得は、制御回路145によって指示される。

【0078】また、CPL108で分配された他方のWDM方式光信号は、光可変減衰器（optical variable attenuator、以下、「VAT」と略記する。）109に入射される。VAT109からのWDM方式光信号は、CPL111に入射される。VAT109としては、例えば、入射光と射出光との間に減衰円板を挿入し、減衰円板の表面には回転方向に厚みが連続的に変えてある金属減衰膜を蒸着して、この減衰円板を回転させることにより減衰量を調節する光可変減衰器や入射光と射出光との間に磁気光学結晶およびこの磁気光学結晶の射出側に偏光子を挿入し、磁気光学結晶に磁界を印加してこの磁界の強さを変えることにより減衰量を調節する光可変減衰器などを利用することができる。

【0079】CPL111で分配された一方のWDM方式光信号は、PD126に入射され、光電変換される。このPD126によってWDM方式光信号のEDF115に対する平均入力光パワーが計測される。PD126からの出力は、A/D136に入力されデジタル信号に変換される。A/D136からの出力は、AGC143に入力される。また、CPL111で分配された他方のWDM方式光信号は、GEQ112およびISO113を介してCPL114に入射される。

【0080】GEQ112は、EDF115の利得波長特性を補償するための光フィルタである。この光フィルタの損失波長特性は、EDF115の利得波長特性とはほぼ同一の形状に合わせられる。また、LD127は、EDF115を励起する波長のレーザ光を発振する。LD127からのレーザ光は、CPL114に入射され、前述のISO113からのWDM方式光信号とCPL114で合波される。この合波されたレーザ光とWDM方式光信号とは、EDF115に入射されWDM方式光信号を増幅する。EDF115の利得は、LD127からのレーザ光の光パワーに依存し、レーザ光の光パワーが小さいと利得は小さく、レーザ光の光パワーが大きくと利得も大きくなる。EDF115からのWDM方式光信号は、CPL116に入射される。

【0081】CPL116で分配された一方のWDM方式光信号は、PD128に入射され、光電変換される。このPD128によってWDM方式光信号のEDF11

18

5に対する平均出力光パワーが計測される。PD128の出力は、WDM方式光信号のこの中継局63に対する平均出力光パワーでもある。PD128からの出力は、A/D138に入力されデジタル信号に変換される。そして、A/D138からの出力は、AGC143およびALC142に入力される。

【0082】AGC143は、前述のA/D136からのWDM方式光信号のEDF115に対する平均入力光パワーとこのA/D138からのWDM方式光信号のEDF115に対する平均出力光パワーとから、EDF115の利得を計測する。そして、AGC143は、D/A137を介してLD127の駆動電流（注入電流）を増減することによってEDF115の利得を所定の利得に制御する。このEDF115の所定の利得は、制御回路145によって指示される。

【0083】また、自動出力制御回路（automatic level controller、以下、「ALC」と略記する。）142は、このA/D138からの入力されたWDM方式光信号の出力光パワーからWDM方式光信号の出力光パワーを判断する。そして、ALC142は、D/A139を介してVAT109の減衰量を調整して所定の出力光パワーになるように減衰量を制御する。この所定の出力光パワーは、制御回路145によって指示される。

【0084】また、CPL116で分配された他方のWDM方式光信号は、WDMカプラー117に入射される。一方、LD151は、前述のOSCの波長のレーザ光を発振する。発振したレーザ光は、10%以下の低反射率で反射波長帯域の中心波長をOSCの波長に設定されたファイバブラッグ反射グレーティングフィルタ（fiber bragg grating filter、以下、「FBG」と略記する。）152に入射される。このようにFBG152によってレーザ光の一部をLD151に戻すとLD151に生じるモードホッピング（mode hopping）を抑制することができるので、LD151は、設定された発振波長で安定的に発振するようになる。

【0085】FBG152からのレーザ光は、光変調器（optical modulator、以下、「MOD」と略記する。）153に入射される。制御回路145は、前段の中継局から受信したOSCの情報をこの中継局の情報を新たに加えて、この更新された情報によってMOD153でレーザ光を変調し、更新されたOSCを生成する。

【0086】MOD153からのOSCは、WDMカプラー117に入射され、前述のCPL116からのWDM方式光信号と波長合波されて、次段の中継局63あるいは光受信局64に伝送すべく光伝送路62に射出される。また、メモリ146は、WDM方式光信号における各光信号の周波数間隔 Δf と波長間隔 $\Delta \lambda$ 、光伝送路62の損失波長特性の損失係数（ $dT_{\text{fib}}/d\lambda$ ）、ピーク利得計数 γ_p 、光伝送路62の有効コア断面積などを記憶する。そして、メモリ146は、EDF105、1

(11)

特開2001-244528

19

20

15の利得和とその利得和における傾き($dG/d\lambda$)との関係を記憶する。この利得和と傾きとの関係は、例えば、利得和を0.1dB間隔にしてこれらにそれぞれ傾きを対応させた表を記憶するとよい。さらに、メモリ146は、これらの記憶内容を制御回路145に出力したり、制御回路145で計算された値、OSCの情報、各PD122、124、126、128の出力値、AGC141、143の利得およびALC142の目標値などを制御回路145から受信して記憶したり、その記憶内容を再び制御回路145に出力したりする。

【0087】光送信局61内の光増幅装置90の構成は、OSCはこの光増幅装置90内で初めて生成されるので、上述の光増幅装置91の構成において、WDMカブラ101、FIL121、PD129およびA/D131を備えない構成である。

【0088】そして、光受信局64内の光増幅装置92の構成は、OSCを更新して送信する必要がないので、上述の光増幅装置91の構成において、LD151、FBG152、MOD153およびWDMカブラ117を備えない構成である。

(本発明と第1の実施形態との対応関係)請求項1、請求項7および請求項9に記載の発明と第1の実施形態との対応関係については、光伝送路は光伝送路62に対応し、光増幅装置は光増幅装置90、91、92に対応する。

【0089】請求項3、請求項7および請求項9に記載の発明と第1の実施形態との対応関係については、第1光増幅手段はLD123とCPL104とEDF105とからなる部分に対応し、光減衰手段はVAT109に対応し、第2光増幅手段はLD127とCPL114とEDF115とからなる部分に対応し、光伝送路は光伝送路62に対応し、制御手段はAGC141、143とALC142と制御回路145とからなる部分に対応する。

【0090】特に、請求項9に記載の発明において、光伝送路62に入射される光の光パワーを測定する部分は、光増幅装置90、91から射出されるWDM方式光信号における光信号の光パワーを測定するから、CPL116とPD128である。請求項11に記載の発明と第1の実施形態との対応関係については、光送信装置は光送信局61に対応し、光受信装置は光受信局64に対応し、光伝送路は光伝送路62に対応し、光中継装置は中継局63に対応し、光増幅装置は光増幅装置90、91、92に対応する。

【0091】(第1の実施形態の作用効果)次に、第1の実施形態の光通信システムの作用効果について説明する。なお、以下の作用効果の説明において、光送信局61内の光増幅装置90における各光部品を指す場合には、符号に「s」を付し、中継局63内の光増幅装置91における各光部品を指す場合には、符号に「rp」を付

し、そして、光受信局64内の光増幅装置92における各光部品を指す場合には、符号に「r」を付して区別する。例えば、制御回路145sは、光増幅装置90における制御回路を指し、制御回路145rpは、光増幅装置91における制御回路を指し、そして、制御回路145rは、光増幅装置92における制御回路を指す。

【0092】光送信局61において、制御回路145sは、メモリ146sに記憶されている各チャンネルの波長を用いて最長波長のチャンネルの波長から最短波長のチャンネルの波長を引いて、最長波長側のチャンネルと最短波長側のチャンネルとの間の間隔を計算する。すなわち、制御回路145sは、(式10)の分母を計算する。例えば、32波のすべてを多重したWDM方式光信号を送送する場合には、制御回路145sは、チャンネル32の波長からチャンネル1の波長を引いて、すなわち、 $\lambda(32) - \lambda(1)$ を計算する。

【0093】制御回路145sは、計算された上述の値、WDM方式光信号の多重数WDM方式光信号の多重数(チャンネル数)、この光送信局61と次段の中継局63-1との間の光伝送路62-1の伝送路長およびこの光送信局61から射出される各チャンネルの光パワーから、(式1)、および、(式5)ないし(式10)を用いて、光増幅装置90の補正量SLを計算する。

【0094】ここで、多重数、伝送路長および各チャンネルの光パワーは、この光通信システムに光送信局61を設置する際に、メモリ146に設定される。特に、各チャンネルの光パワーは、光伝送路62において非線形光学効果を起こさず且つ次段の中継局63-1まで充分に伝送することができる値に設定される。制御回路145sは、この設定される各チャンネルの光パワーになるようにALC142sに目標値を出力する。ALC142sは、PD128sからの出力を参照しながらVAT109sの減衰量を調整する。

【0095】そして、制御回路145sは、補正量SL(傾き)に対応するEDF105sおよびEDF115sの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105sおよびEDF115sを調整する。このEDF105sおよびEDF115sの調整は、利得和を2:1にEDF105sおよびEDF115sに配分する。なお、利得和は、例えば、利得和と傾きとの関係を表としてメモリ146rpに記憶されている場合には、この表から検索するようにしてもよい。

【0096】そして、この利得和を配分する比率は、2:1に限定されるものではなく、1:1、3:1など任意の比率にすることができる。さらに、このEDF105sおよびEDF115sの調整は、EDF105sの利得を或る一定値に保ち、EDF115sの利得を設定されるべき利得和からこのEDF105sの利得を引いた値にするようにしてもよい。後述する制御回路145rp、145rについても同様である。

(12)

特開2001-244528

21

【0097】そして、制御回路145sは、AGC141sにEDF105sの利得を指示する。AGC141sは、PD122s、124sの出力を参照しながらLD123sの駆動電流（注入電流）の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105sの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0098】制御回路145sは、AGC143sにEDF115sの利得を指示する。AGC143sは、PD126s、128sの出力を参照しながらLD127sの駆動電流（注入電流）の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115sの利得は、ほぼ一定に維持される。したがって、このような光増幅装置90では、AGC141s、143sによってEDF105s、115sの利得がほぼ一定に維持されその利得の和も所定の値に維持されるので、光増幅装置90の利得波長特性を補償量SLにすることができる。

【0099】このため、図5（b）の上段における左から1番目に示すように各チャネルの光パワーが一定のWDM方式光信号は、光増幅装置90で増幅されると、図5（b）の下段における左から1番目に示すように補償量SLで傾いたWDM方式光信号となる。そして、この傾いたWDM方式光信号は、図5（b）の上段における左から2番目に示すように次段の中継局63-1の入射側では、WDM方式光信号は、各チャネルの光SNRがほぼ同一になる。

【0100】ここで、EDF105s、115sの利得Gと傾き（ $dG/d\lambda$ ）について、一例を説明する。EDF105s、115sとして、アルミナ（3酸化2アルミ： Al_2O_3 ）を高濃度に添加したEDFを用いることによって、1550nm付近の増幅帯域において、EDF105s、115sの利得波長特性をほぼ線形にすることができる。そして、この1550nm付近の増幅帯域において、励起率が高い場合は短波長側の利得が高く長波長側の利得が低く、励起率が低い場合は短波長側の利得が低く長波長側の利得が高くなる。

【0101】このようなEDF105s、115sを使用することにより、励起率によって種々の傾きを作ることができるから、EDF105sの利得とEDF115sの利得との和を光増幅装置90の利得に設定しながら、光増幅装置90の利得波長特性を補償量SLに合わせることができる。なお、エルビウム添加光ファイバ増幅器の利得波長特性は、一般に非線形であるから光増幅装置90の利得波長特性を非線形な形状にすることもできる。

【0102】一方、OSCは、LD151sからレーザ光をMOD153sで多重、最短波長のチャネル番号、最長波長のチャネル番号やこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などの情報で変調され、WD

22

Mカブラ117sでWDM方式光信号と波長合波されて次段の中継局63-1へ伝送される。図5（b）の上段における左から2番目に示すようなWDM方式光信号を受信した中継局63-1において、制御回路145rpは、PD129で受信されたOSCから最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号とを判断する。

【0103】制御回路145rpは、メモリ146rpに記憶されている各チャネルの波長を用いて最長波長のチャネルの波長から最短波長のチャネルの波長を引いて、最長波長側のチャネルと最短波長側のチャネルとの間の間隔を計算する。すなわち、制御回路145sは、（式10）の分母を計算する。制御回路rpは、計算された上述の値、OSCから得た多重数（チャネル数）、この中継局63-1と次段の中継局63-2との間の光伝送路62-2の伝送路長およびこの中継局63-1から射出される各チャネルの光パワーから、（式1）、および、（式5）ないし（式10）を用いて、光増幅装置91の補正量SLを計算する。

【0104】ここで、伝送路長および各チャネルの光パワーは、この光通信システムに中継局62-1を設置する際に、メモリ146に設定される。特に、各チャネルの光パワーは、光伝送路62において非線形光学効果を起こさず且つ次段の中継局63-2まで十分に伝送することのできる値に設定される。制御回路145rpは、この設定される各チャネルの光パワーになるようにALC142rpに目標値を出力する。ALC142rpは、PD128rpからの出力を参照しながらVAT109rpの減衰量を調整する。

【0105】そして、制御回路145rpは、補正量SL（傾き）に対応するEDF105rpおよびEDF115rpの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105rpおよびEDF115rpを調整する。このEDF105rpおよびEDF115rpの調整は、利得和を2:1にEDF105rpおよびEDF115rpに配分する。そして、制御回路145rpは、AGC141rpにEDF105rpの利得を指示する。AGC141rpは、PD122rp、124rpの出力を参照しながらLD123rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105rpの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0106】制御回路145rpは、AGC143rpにEDF115rpの利得を指示する。AGC143rpは、PD126rp、128rpの出力を参照しながらLD127rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115rpの利得は、ほぼ一定に維持される。したがって、このような光増幅装置91では、AGC141rp、143rpによってEDF105rp、115rpの利得がほぼ一定に維持されその利得の和も所定の値に維持されるので、光増幅装置91の利得波長特性を補償量SLにすることが

(13)

特開2001-244528

23

24

できる。

【0107】このため、図5(b)の上段における左から2番目に示すように各チャネルの光パワーが一定のWDM方式光信号は、光増幅装置91で増幅されると、図5(b)の下段における左から2番目に示すように補償歪SLで傾いたWDM方式光信号となる。そして、この傾いたWDM方式光信号は、次段の中継局63-2の入射側では、図5(b)の上段における左から3番目に示すように各チャネルの光SNRがほぼ同一になる。

【0108】一方、OSCは、LD151rからレーザ光をMOD153rで多重数やこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などの情報で変調され、WDMカプラ117rでWDM方式光信号と波長合波されて次段の中継局63-2へ伝送される。各中継局63では、中継局63-1と同様に動作して順次にWDM方式光信号を伝送する。この際に、前段の中継局63の光増幅装置91で補償歪SLになるようにWDM方式光信号に波長依存性を持たせるので、次段の中継局63の入射側では、図5(b)の上段に示すように各チャネルの光SNRがほぼ同一になる。

【0109】図5(b)の上段における右端に示すようなWDM方式光信号を受信した光受信局64において、制御回路145rは、メモリ146rに記憶されている各チャネルの光パワーになるようにALC142rに目標値を出力する。ALC142rは、PD128rからの出力を参照しながらVAT109rの減衰量を調整する。

【0110】そして、制御回路145rは、補正歪SL(傾き)に対処するEDF105rおよびEDF115rの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105rおよびEDF115rの調整は、利得和を2:1にEDF105rおよびEDF115rに配分する。そして、制御回路145rは、AGC141rにEDF105rの利得を指示する。AGC141rは、PD122r、124rの出力を参照しながらLD123rの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105rの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0111】制御回路145rは、AGC143rにEDF115rの利得を指示する。AGC143rは、PD126r、128rの出力を参照しながらLD127rの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115rの利得は、ほぼ一定に維持される。このため、図5(b)の下段における右端に示すように各チャネルの光SNRがほぼ同一になる。

【0112】そして、このWDM方式光信号は、DEMUX77で各チャネルごとに分離されてそれぞれOR78で受信処理される。また、図5(c)は、第1の実施

形態の効率と比較するために、光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱を補償しない光増幅装置を中継局として使用した場合を示す。

【0113】図5(c)に示すように、WDM方式光信号は、光伝送路62を伝送するに従って光伝送路62の伝送損失および誘導ラマン散乱による波長特性が累積されるため、各チャネルの光SNRが不均一となる。このことをより明確に示すため、図7に中継局が6個の場合のレベルダイアグラムおよび光SNRを示す。また、比較のために、図8に光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱を補償しない光増幅装置を用いた中継局が6個の場合のレベルダイアグラムおよび光SNRを示す。

【0114】図7(a)に示すように第1の実施形態では、各中継局63において各チャネルの光パワー(signal power)は、ほぼ一定である。そして、図7(b)に示すように光送信局61、各中継局63および光受信局64において、各チャネルの光SNR(OSNR)は、ほぼ同一である。一方、図8(a)に示すように伝送損失および誘導ラマン散乱を補償しない光増幅装置を用いた中継局の光通信システムでは、伝送するに従い最短波長側のチャネルであるチャネル1の光パワーは、徐々に減少し、伝送するに従い最長波長側のチャネルであるチャネル32の光パワーは、徐々に増加する。そして、図8(b)に示すように光送信局61から各中継局63を経て光受信局64に伝送するに従い最短波長側のチャネルであるチャネル1の光SNRは、最長波長側のチャネルであるチャネル32の光SNRに比べてより劣化する。

【0115】このように光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱を補償歪SLで補償して光SNRを改善するので、中継間隔を長距離化することができる。そして、光送信局61と光受信局64との間も長距離化することができる。なお、第1の実施形態においては、OSCをLD151rからのレーザ光を外部光変調器であるMOD153rで変調して生成したが、LD151rを直接変調して生成してもよい。

【0116】次に、別の実施形態について説明する。

(第2の実施形態の構成) 第2の実施形態は、請求項2、請求項4、請求項7、請求項8、請求項10および請求項11に記載の発明に対応する光通信システムの実施形態である。第2の実施形態においては、2端局間を32波のWDM方式光信号が本発明にかかる複数の光増幅装置で順次に増幅されつつ伝送される。

【0117】第1の実施形態では、WDM方式光信号を次段の中継局に伝送する際に予め光伝送路の損失波長特性を補償する光増幅装置の実施形態であるが、第2の実施形態では、前段の中継局から伝送されて入射されるWDM方式光信号を伝送してきた光伝送路の損失波長特性で補償する光増幅装置の実施形態である。図9(a)(b)は、第2の実施形態の光通信システムの構成を示

(14)

特開2001-244528

25

す図である。

【0118】図10は、第2の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。なお、図9(a)(b)および図10において、第1の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。まず、図9(a)に示す光通信システムの構成について説明する。

【0119】図9(a)において、第2の実施形態における光通信システムは、WDM方式光信号を生成して送り出す光送信局65と、光伝送路62と、伝送されたWDM方式光信号を受ける光受信局67とを備える。そして、光増幅装置94を有する中継局66が光伝送路62の途中に複数個設けられている。光送信局65では、OS71からの複数の光信号をMUX72で波長多重してWDM方式光信号を生成する。生成されたWDM方式光信号は、光送信局65内の光増幅装置94で増幅されて光伝送路62に射出される。

【0120】中継局66は、前段の光送信局65あるいは中継局66から光伝送路62によって伝送されたWDM方式光信号を次段の中継局63あるいは光受信局64へWDM方式光信号を送信すべく光増幅装置94で増幅して光伝送路62へ射出する。光受信局67は、前段の中継局66からのWDM方式光信号を光増幅装置94で増幅してDEMUX77で増幅されたWDM方式光信号を波長分離する。そして、分離した光信号をそれぞれOR78-1〜78-32で復調して情報を取り出す。

【0121】次に、これら光送信局65、中継局66および光受信局67で使用する光増幅装置94の構成について説明する。図10において、MUX72あるいは前段の中継局66からのWDM方式光信号は、光増幅装置94内のCPL102に入射される。CPL102で分配された一方のWDM方式光信号は、PD122に入射されて光電変換される。PD122からの出力は、A/D132を介して制御回路151およびAGC141に入力される。

【0122】そして、CPL102で分配された他方のWDM方式光信号は、ISO103を介してCPL104に入射される。また、EDF105を励起する励起光を発生するLD123からのレーザ光は、CPL104に入射され、前述のISO103からのWDM方式光信号とCPL104で合波される。この合波されたレーザ光とWDM方式光信号とは、EDF105に入射される。EDF105で増幅されたWDM方式光信号は、ISO106およびGEQ107を介してCPL108に入射される。

【0123】CPL108で分配された一方のWDM方式光信号は、PD124に入射されて光電変換される。PD124からの出力は、A/D134を介してAGC141に入力される。AGC141は、前述のA/D132からの出力とこのA/D134からの出力とから、

26

EDF105の利得が制御回路145によって指示された所定の利得になるように制御する。

【0124】また、CPL108で分配された他方のWDM方式光信号は、D/A139を介してALC142から入力される信号によって減衰量が制御されるVAT109に入射される。VAT109からのWDM方式光信号は、CPL111に入射される。CPL111で分配された一方のWDM方式光信号は、PD126に入射されて光電変換される。PD126からの出力は、A/D136を介してAGC143に入力される。CPL111で分配された他方のWDM方式光信号は、GEQ112およびISO113を介してCPL114に入射される。

【0125】EDF115を励起する励起光を発生するLD127からのレーザ光は、CPL114に入射され、ISO113からのWDM方式光信号とCPL114で合波される。この合波されたレーザ光とWDM方式光信号とは、EDF115に入射され、EDF115で増幅されたWDM方式光信号は、CPL116に入射される。CPL116で分配された一方のWDM方式光信号は、PD128に入射されて光電変換される。PD128からの出力は、A/D138を介してAGC143、ALC142および制御回路151に入力される。

【0126】AGC143は、前述のA/D136からの出力とこのA/D138からの出力とから、EDF115の利得を計測して、EDF115の利得が制御回路145によって所定の利得になるように制御する。ALC142は、このA/D138からの出力からWDM方式光信号の出力光パワーを判断して、制御回路145によって指示された所定の出力光パワーになるようVAT109の減衰量を制御する。

【0127】そして、CPL110で分配された他方のWDM方式光信号は、CPL111に入射される。CPL116で分配された他方のWDM方式光信号は、次段の中継局66あるいは光受信局67に伝送すべく光伝送路62に射出される。制御回路151は、A/D132から得たこの中継局66に入射されるWDM方式光信号の平均入力光パワーなど、この光通信システムを運用する上で必要な保守情報、状態情報などの情報を監視信号として、前段の光送信局65における制御回路151あるいは前段の中継局66における制御回路151に送信する。また、制御回路151は、次段の光受信局67あるいは次段の中継局66に入射されるWDM方式光信号の平均入力光パワーなどを含む監視信号を次段の光受信局67における制御回路151あるいは次段の中継局66における制御回路151から受信する。

【0128】また、メモリ152は、WDM方式光信号における各光信号の周波数間隔 Δf と波長間隔 $\Delta \lambda$ 、光伝送路62の損失波長特性の損失係数 $(d\text{Trb}/d\lambda)$ 、ピーク利得計数 γp 、光伝送路62の有効コア断

(15)

特開2001-244528

27

面積 A_{eff} などを記憶する。そして、メモリ152は、EDF105、115の利得和とその利得和における傾き $(dG/d\lambda)$ との関係、光増幅装置94から光伝送路62にWDM方式光信号を射出する際の出力光パワーを記憶する。さらに、メモリ152は、これらの記憶内容を制御回路151に出力したり、制御回路151で計算された値、各PD122、124、126、128の出力値、AGC141、143の利得およびALC142の目標値などを制御回路151から受信して記憶したり、その記憶内容を再び制御回路151に出力したりする。

【0129】(本発明と第2の実施形態との対応関係)請求項2、請求項7、請求項8および請求項10に記載の発明と第2の実施形態との対応関係については、光伝送路は光伝送路62に対応し、光増幅装置は光増幅装置94に対応する。請求項4、請求項7、請求項8および請求項10に記載の発明と第2の実施形態との対応関係については、第1光増幅手段はLD123とCPL104とEDF105とからなる部分に対応し、光源減手段はVAT109に対応し、第2光増幅手段はLD127とCPL114とEDF115とからなる部分に対応し、光伝送路は光伝送路62に対応し、制御手段はAGC141、143とALC142と制御回路151とからなる部分に対応する。

【0130】特に、請求項8に記載の発明において、光伝送路62に入射される光の平均光パワーを測定する部分は、前段の中継局66内(光送信局65内)の光増幅装置94から光伝送路62に射出されるWDM方式光信号における光信号の光パワーを測定するから、前段の中継局66内(光送信局65内)の光増幅装置94におけるCPL116とPD128である。光伝送路62から射出される光の平均光パワーを測定する部分は、この中継局66内の光増幅装置94に光伝送路62から入射されるWDM方式光信号における光信号の光パワーを測定するから、この中継局66内の光増幅装置94におけるCPL102とPD122である。

【0131】請求項11に記載の発明と第2の実施形態との対応関係については、光送信装置は光送信局65に対応し、光受信装置は光受信局67に対応し、光伝送路は光伝送路62に対応し、光中継装置は中継局66に対応し、光増幅装置は光増幅装置94に対応する。

(第2の実施形態の作用効果)次に、第2の実施形態の光通信システムの作用効果について説明する。

【0132】光送信局65内で生成されたWDM方式光信号は、光送信局65内の光増幅装置94に入射される。光送信局65内の光増幅装置94において、制御回路151sは、メモリ152sに記憶されている各チャネルの光パワーになるようにALC142sに目標値を出力する。ALC142sは、PD128sからの出力を参照しながらVAT109sの減衰量を調整する。

28

【0133】そして、制御回路151sは、傾きがほぼ平坦になるようにEDF105sおよびEDF115sの利得和を求め、この利得和をEDF105sおよびEDF115sに配分する。そして、制御回路151sは、AGC141sにEDF105sの利得を指示する。AGC141sは、PD122s、124sの出力を参照しながらLD123sの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105sの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0134】制御回路151sは、AGC143sにEDF115sの利得を指示する。AGC143sは、PD126s、128sの出力を参照しながらLD127sの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115sの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0135】また、制御回路151sは、PD128sから得たWDM方式光信号の平均光パワーの情報、最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号および多重数をこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などとともに専用回線を用いて次段の中継局66-1の制御回路151rpに送信する。このように制御するので、光送信局65から射出されるWDM方式光信号は、各チャネルの光パワーがほぼ同一のWDM方式光信号となって、光伝送路62-1に射出される。

【0136】このWDM方式光信号は、光伝送路62-1で伝送損失と誘導ラマン散乱によって各チャネルの光パワーが不均一となる。このため、中継局66-1では、傾斜のあるWDM方式光信号が入射される。傾斜のあるWDM方式光信号を受信した中継局66-1において、制御回路151rpは、専用回線を通して受信した信号から最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号とを判断する。

【0137】制御回路151rpは、メモリ152rpに記憶されている各チャネルの波長を用いて最長波長のチャネルの波長から最短波長のチャネルの波長を引いて、

(式10)の分母を計算する。また、制御回路151rpは、この中継局66-1に入射されるWDM方式光信号の平均光パワーをPD122rpから受信する。制御回路151rpは、専用回線を通して受信した信号から得た光送信局65から射出されたWDM方式光信号の平均光パワーの情報と、このPD122rpからのWDM方式光信号の平均光パワーとの差分を計算する。そして、制御回路151rpは、この差分を光伝送路62-1の損失係数で割ることにより、光伝送路62-1の伝送路長を求める。

【0138】制御回路rpは、計算された(式10)の分母の値、受信した信号から得た多重数(チャネル数)、求められた光伝送路62-2の伝送路長およびこの中継局63-1から射出される各チャネルの光パワーから、(式1)、および、(式5)ないし(式10)を用いて、中

(16)

特開2001-244528

29

縦局66内の光増幅装置94の補正量SLを計算する。
 【0139】ここで、各チャネルの光パワーは、この光通信システムに中継局62-1を設置する際に、メモリ152rpに設定される。制御回路151rpは、この設定される各チャネルの光パワーになるようにALC142rpに目標値を出力する。ALC142rpは、PD128rpからの出力を参照しながらVAT109rpの減衰量を調整する。

【0140】そして、制御回路151rpは、補正量SL（傾き）に対応するEDF105rpおよびEDF115rpの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105rpおよびEDF115rpを調整する。この調整は、例えば、利得和を2:1にEDF105rpおよびEDF115rpに配分する。そして、制御回路151rpは、AGC141rpにEDF105rpの利得を指示する。AGC141rpは、PD122rp、124rpの出力を参照しながらLD123rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105rpの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0141】制御回路151rpは、AGC143rpにEDF115rpの利得を指示する。AGC143rpは、PD126rp、128rpの出力を参照しながらLD127rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115rpの利得は、ほぼ一定に維持される。したがって、このような光増幅装置94では、AGC141rp、143rpによってEDF105rp、115rpの利得がほぼ一定に維持されその利得和も所定の値に維持されるので、光増幅装置94の利得波長特性を補償量SLにすることができる。このため、光増幅装置94から光伝送路62-2に射出されるWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0142】また、制御回路151rpは、PD128rpから得たWDM方式光信号の平均光パワーの情報、最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号および多重数をこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などとともに専用回線を用いて次段の中継局66-2の制御回路151rpに送信する。このWDM方式光信号は、光伝送路62-2で伝送損失と誘導ラマン散乱によって各チャネルの光パワーが不均一となる。このため、中継局66-2では、傾斜のあるWDM方式光信号が入射される。

【0143】各中継局66では、中継局66-1と同様に動作して順次にWDM方式光信号を伝送する。この際に、光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱によるWDM方式光信号の波長依存性は、各中継局66の光増幅装置94で補償される。このため、光増幅装置94から光伝送路62に射出されるWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0144】傾斜のあるWDM方式光信号を受信した光

30

受信局67において、制御回路151rpは、専用回線を通して受信した信号から最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号とを判断する。制御回路151rpは、メモリ152rpに記憶されている各チャネルの波長を用いて最長波長のチャネルの波長から最短波長のチャネルの波長を引いて、(式10)の分母を計算する。

【0145】また、制御回路151rpは、この光受信局67に入射されるWDM方式光信号の平均光パワーをPD122rpから受信する。そして、制御回路151rpは、専用回線を通して受信した信号から得た前段の中継局66から射出されたWDM方式光信号の平均光パワーの情報と、このPD122rpからのWDM方式光信号の平均光パワーとの差分を計算する。そして、制御回路151rpは、この差分を光伝送路62-m+1の損失係数で割ることにより、光伝送路62-m+1の伝送路長を求める。

【0146】制御回路151rpは、計算された(式10)の分母の値、受信した信号から得た多重数、求められた光伝送路62-2の伝送路長およびこの光受信局67内の光増幅装置94から射出される各チャネルの光パワーから、(式1)、および、(式5)ないし(式10)を用いてこの光増幅装置94の補正量SLを計算する。ここで、各チャネルの光パワーは、この光通信システムに光受信局67を設置する際に、メモリ152rpに設定される。特に、各チャネルの光パワーは、DEMUX77の損失を考慮してOR78に最適な光パワーが入射されるように設定される。

【0147】制御回路151rpは、この設定される各チャネルの光パワーになるようにALC142rpに目標値を出力する。ALC142rpは、PD128rpからの出力を参照しながらVAT109rpの減衰量を調整する。そして、制御回路151rpは、補正量SL（傾き）に対応するEDF105rpおよびEDF115rpの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105rpおよびEDF115rpを調整する。この調整は、例えば、利得和を2:1にEDF105rpおよびEDF115rpに配分する。

【0148】そして、制御回路151rpは、AGC141rpにEDF105rpの利得を指示する。AGC141rpは、PD122rp、124rpの出力を参照しながらLD123rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105rpの利得は、ほぼ一定に維持される。制御回路151rpは、AGC143rpにEDF115rpの利得を指示する。AGC143rpは、PD126rp、128rpの出力を参照しながらLD127rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115rpの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0149】したがって、このような光増幅装置94では、AGC141rp、143rpによってEDF105rp

(17)

特開2001-244528

31

、115rの利得がほぼ一定に維持されその利得値も所定の値に維持されるので、光増幅装置94の利得波長特性を補償装置SLにすることができる。このため、光増幅装置94からDEMUX77に射出されるWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0150】このように光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱を補償装置SLで補償して光SNRを改善するので、中継間隔を長距離化することができる。そして、光送信局65と光受信局67との間も長距離化することができる。なお、第2の実施形態においては、各中継局66内の制御回路151rおよび光受信局67内の制御回路151rによって、それぞれ補償装置SLを計算したが、図9(b)に示すように、光送信局65内の制御回路151s、各中継局66内の制御回路151rおよび光受信局67内の制御回路151rから、各光伝送路62の伝送路長の計算に必要な光送信局65から射出されるWDM方式光信号の平均光パワー、各中継局66に入射されるWDM方式光信号の平均光パワー、各中継局66から射出されるWDM方式光信号の平均光パワーおよび光受信局67に入射されるWDM方式光信号の平均光パワーと多重数をこの光通信システムを統括管理する監視制御回路170に集中させ、この監視制御回路170で各中継局66および光受信局67における補償量を計算して、その結果を各中継局66および光受信局67に送信するようにしてもよい。

【0151】次に、別の実施形態について説明する。

(第3の実施形態の構成) 第3の実施形態は、請求項1、請求項3、請求項5、請求項6および請求項11に対応する光通信システムの実施形態である。第3の実施形態においては、2端局間を32波のWDM方式光信号が本発明にかかる複数の光増幅装置で順次増幅されつつ伝送される。

【0152】第3の実施形態は、光伝送路を伝送するWDM方式光信号のスペクトルを計測することによって、光伝送路の損失波長特性を計測してこの損失波長特性を補償する実施形態である。図11(a)(b)は、第3の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。

【0153】図12は、第3の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。なお、図11(a)(b)および図12において、第1の実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。まず、図11(a)に示す光通信システムの構成について説明する。

【0154】図11(a)において、第3の実施形態における光通信システムは、WDM方式光信号を生成して送り出す光送信局68と、光伝送路62と、伝送されたWDM方式光信号を受ける光受信局70とを備える。そして、光増幅装置94を有する中継局69が光伝送路62の途中で複数個設けられている。光送信局68では、

32

OS71からの複数の光信号をMUX72で波長多重してWDM方式光信号を生成する。生成されたWDM方式光信号は、光送信局65内の光増幅装置97で増幅されて光伝送路62に射出される。

【0155】中継局69は、前段の光送信局68あるいは中継局69から光伝送路62によって伝送されたWDM方式光信号を次段の中継局69あるいは光受信局70へWDM方式光信号を送信すべく光増幅装置97で増幅して光伝送路62へ射出する。光受信局70は、前段の中継局69-mからのWDM方式光信号を光増幅装置97で増幅してDEMUX77で増幅されたWDM方式光信号を波長分離する。そして、分離した光信号をそれぞれOR78-1〜78-32で復調して情報を取り出す。

【0156】次に、これら光送信局68、中継局69および光受信局70で使用する光増幅装置97の構成について説明する。図12において、MUX72あるいは前段の中継局69からのWDM方式光信号は、光増幅装置97内のCPL161に入射される。

【0157】CPLで分配された一方のWDM方式光信号は、光スイッチ(以下、「光SW」と略記する。)166に入射される。また、CPLで分配された他方のWDM方式光信号は、CPL102に入射される。CPL102で分配された一方のWDM方式光信号は、PD122に入射されて光電変換される。PD122からの出力は、A/D132を介してAGC141に入力される。CPL102で分配された他方のWDM方式光信号は、ISO103を介してCPL104に入射される。

【0158】また、LD123からのレーザ光は、CPL104に入射され、前述のISO103からのWDM方式光信号とCPL104で合波される。この合波されたレーザ光とWDM方式光信号とは、EDF105に入射される。EDF105で増幅されたWDM方式光信号は、ISO106およびGEQ107を介してCPL108に入射される。

【0159】CPL108で分配された一方のWDM方式光信号は、PD124に入射されて光電変換される。PD124からの出力は、A/D134を介してAGC141に入力される。AGC141は、前述のA/D132からの出力とこのA/D134からの出力とから、EDF105の利得が制御回路151によって指示された所定の利得になるように制御する。

【0160】また、CPL108で分配された他方のWDM方式光信号は、D/A139を介してALC142から入力される信号によって減衰量が制御されるVAT109に入射される。VAT109からのWDM方式光信号は、CPL111に入射される。CPL111で分配された一方のWDM方式光信号は、PD126に入射されて光電変換される。PD126からの出力は、A/D136を介してAGC143に入力される。CPL111で分配された他方のWDM方式光信号は、GEQ1

(18)

特開2001-244528

33

12およびISO113を介してCPL114に入射される。

【0161】LD127からのレーザ光は、CPL114に入射され、前述のISO113からのWDM方式光信号とCPL114で合波される。この合波されたレーザ光とWDM方式光信号とは、EDF115に入射される。EDF115で増幅されたWDM方式光信号は、CPL116に入射される。CPL116で分配された一方のWDM方式光信号は、PD128に入射されて光電変換される。PD128からの出力は、A/D138を介してAGC143、ALC142および制御回路163に入力される。

【0162】AGC143は、前述のA/D138からの出力とこのA/D138からの出力とから、EDF115の利得を計測して、EDF115の利得が制御回路151によって所定の利得になるように制御する。ALC142は、このA/D138からの出力からWDM方式光信号の出力光パワーを判断して、制御回路145によって指示された所定の出力光パワーになるようVAT109の減衰量を制御する。

【0163】また、CPL116で分配された他方のWDM方式光信号は、CPL162に入射される。CPL162で分配された一方のWDM方式光信号は、次段の中継局66あるいは光受信局67に伝送すべく光伝送路62に射出される。CPL162で分配された他方のWDM方式光信号は、光SW166に入射される。

【0164】光SW166は、前述のCPL161からのWDM方式光信号またはCPL162からのWDM方式光信号のいずれか一方をスペクトラムアナライザ165に入射させる。そのいずれか一方の選択は、制御回路163によって制御される。スペクトラムアナライザ165は、入射する光の波長（周波数）とその波長における光の光パワーとを計測して、その結果を制御回路163に出力する。制御回路163は、スペクトラムアナライザ165から得たこの中継局69に入射されるWDM方式光信号のスペクトルなど、この光通信システムを運用する上で必要な保守情報、状態情報などの情報を監視信号として、前段の光送信局68における制御回路163あるいは前段の中継局69における制御回路163に送信する。また、制御回路163は、次段の光受信局70あるいは次段の中継局69に入射されるWDM方式光信号のスペクトルなどを含む監視信号を次段の光受信局70における制御回路163あるいは次段の中継局69における制御回路163から受信する。

【0165】また、メモリ164は、EDF105、115の利得和とその利得和における傾き（ $dG/d\lambda$ ）との関係、光増幅装置97から光伝送路62にWDM方式光信号を射出する際の出力光パワーなどを記憶する。そして、メモリ164は、これらの記憶内容を制御回路163に出力したり、制御回路163で計算された値、

34

各PD122、124、126、128の出力値、スペクトラムアナライザ165の出力値、AGC141、143の利得およびALC142の目標値などを制御回路163から受信して記憶したり、その記憶内容を再び制御回路163に出力したりする。

【0166】（本発明と第3の実施形態との対応関係）請求項1、請求項5および請求項6に記載の発明と第3の実施形態との対応関係については、光伝送路は光伝送路62に対応し、光増幅装置は光増幅装置97に対応する。請求項3、請求項5および請求項6に記載の発明と第3の実施形態との対応関係については、第1光増幅手段はLD123とCPL104とEDF105とからなる部分に対応し、光減衰手段はVAT109に対応し、第2光増幅手段はLD127とCPL114とEDF115とからなる部分に対応し、光伝送路は光伝送路62に対応し、制御手段はAGC141、143とALC142と制御回路163とからなる部分に対応する。

【0167】特に、請求項5および請求項6に記載の発明において、光伝送路62に入射される光のスペクトルを測定する部分は、この中継局66内の光増幅装置97から光伝送路62へ射出されるWDM方式光信号のスペクトルを測定するから、この中継局66内の光増幅装置97におけるCPL162と光SW166とスペクトラムアナライザ165である。そして、光伝送路62から射出される光のスペクトルを測定する部分は、次段の中継局69内（光受信局70内）の光増幅装置97に光伝送路62から入射されるWDM方式光信号のスペクトルを測定するから、次段の中継局69内（光受信局70内）の光増幅装置97におけるCPL161と光SW166とスペクトラムアナライザ165である。

【0168】請求項11に記載の発明と第3の実施形態との対応関係については、光送信装置は光送信局68に対応し、光受信装置は光受信局70に対応し、光伝送路は光伝送路62に対応し、光中継装置は中継局69に対応し、光増幅装置は光増幅装置97に対応する。

〈第3の実施形態の作用効果〉次に、第3の実施形態の光通信システムの作用効果について説明する。

【0169】光送信局68内で生成されたWDM方式光信号は、光送信局68内の光増幅装置97に入射される。光送信局68内の光増幅装置97において、制御回路163sは、メモリ164sに記憶されている各チャネルの光パワーになるようにALC142sに目標値を出力する。ALC142sは、PD128sからの出力を参照しながらVAT109sの減衰量を調整する。

【0170】そして、制御回路163sは、傾きがほぼ平坦になるようにEDF105sおよびEDF115sの利得和を求め、この利得和をEDF105sおよびEDF115sに配分する。そして、制御回路163sは、AGC141sにEDF105sの利得を指示する。AGC141sは、PD122s、124sの出力

(19)

特開2001-244528

35

を参照しながらLD123sの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105sの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0171】制御回路163sは、AGC143sにEDF115sの利得を指示する。AGC143sは、PD126s、128sの出力を参照しながらLD127sの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115sの利得は、ほぼ一定に維持される。また、制御回路163sは、CPL162sからのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ165sに入射されるように光SW166sを切り替える。制御回路163sは、スペクトラムアナライザ165sからこの計測結果を受信する。制御回路163sは、スペクトラムアナライザ165sから得たWDM方式光信号のスペクトルの情報、最短波長のチャンネル番号と最長波長のチャンネル番号および多重数をこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などとともに専用回線を用いて次段の中継局69-1の制御回路163rpに送信する。

【0172】このように制御するので、光送信局68から射出されるWDM方式光信号は、各チャンネルの光パワーがほぼ同一のWDM方式光信号となって、光伝送路62-1に射出される。このWDM方式光信号は、光伝送路62-1で伝送損失と誘導ラマン散乱によって各チャンネルの光パワーが不均一となる。このため、中継局69-1では、傾斜のあるWDM方式光信号が入射される。

【0173】傾斜のあるWDM方式光信号を受信した中継局69-1において、制御回路163rpは、専用回線を通して受信した信号から最短波長のチャンネル番号と最長波長のチャンネル番号とを判断する。制御回路163rpは、メモリ164rpに記憶されている各チャンネルの波長を用いて最長波長のチャンネルの波長から最短波長のチャンネルの波長を引いて、最長波長のチャンネルと最短波長のチャンネルとの波長間隔を計算する。

【0174】また、制御回路163rpは、CPL161からのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ165rpに入射されるように光SW166rpを切り替える。制御回路163rpは、スペクトラムアナライザ165rpから計測結果を受信する。

【0175】そして、制御回路163rpは、このスペクトラムアナライザ165rpからの計測結果と専用回線を通して受信した信号から得た光送信局68から射出されたWDM方式光信号のスペクトルの情報とから、WDM方式光信号の波長依存性（傾き）を計算する。この計算結果が補償量SLに相当する。なお、制御回路163rpは、これらのスペクトルから光伝送路62-1の伝送路長を求め、さらに、これらのスペクトルから（式1）ないし（式4）、および、（式10）を用いて、補正量SLを計算してもよい。

36

【0176】制御回路163rpは、設定されている各チャンネルの光パワーになるようにALC142rpに目標値を出力する。ALC142rpは、PD128rpからの出力を参照しながらVAT109rpの減衰量を調整する。ここで、ALC142rpに目標値である各チャンネルの光パワーは、この光通信システムに中継局62-1を設置する際に、メモリ164rpに設定される。

【0177】そして、制御回路163rpは、補正量SL（傾き）に対応するEDF105rpおよびEDF115rpの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105rpおよびEDF115rpを調整する。この調整は、例えば、利得和を2:1にEDF105rpおよびEDF115rpに配分する。そして、制御回路163rpは、AGC141rpにEDF105rpの利得を指示する。AGC141rpは、PD122rp、124rpの出力を参照しながらLD123rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105rpの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0178】制御回路163rpは、AGC143rpにEDF115rpの利得を指示する。AGC143rpは、PD126rp、128rpの出力を参照しながらLD127rpの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115rpの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0179】したがって、このような光増幅装置97では、AGC141rp、143rpによってEDF105rp、115rpの利得がほぼ一定に維持されるので、光増幅装置97の利得波長特性を補償量SLにすることができ、このため、光増幅装置97から光伝送路62-2に射出されるWDM方式光信号における各チャンネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0180】また、制御回路163rpは、CPL162rpからのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ165rpに入射されるように光SW166rpを切り替える。制御回路163rpは、スペクトラムアナライザ165rpからこの計測結果を受信する。制御回路163rpは、スペクトラムアナライザ165rpから得たWDM方式光信号のスペクトルの情報、最短波長のチャンネル番号と最長波長のチャンネル番号および多重数をこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などとともに専用回線を用いて次段の中継局69-2の制御回路163rpに送信する。

【0181】光増幅装置97からのWDM方式光信号は、光伝送路62-2で伝送損失と誘導ラマン散乱によって各チャンネルの光パワーが不均一となる。このため、中継局66-2では、傾斜のあるWDM方式光信号が入射される。各中継局66では、中継局66-1と同様に動作して順次にWDM方式光信号を伝送する。この際に、光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱によるWDM方式光信号の波長依存性は、各中継局の光増幅装

(20)

特開2001-244528

37

置97で補償される。このため、光増幅装置97から光伝送路62に射出されるWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0182】傾斜のあるWDM方式光信号を受信した光受信局70において、制御回路163rは、専用回線を通して受信した信号から最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号とを判断する。制御回路163rは、メモリ164rに記憶されている各チャネルの波長を用いて最長波長のチャネルの波長から最短波長のチャネルの波長を引いて、最長波長のチャネルと最短波長のチャネルとの波長間隔を計算する。

【0183】また、制御回路163rは、CPL161rからのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ165rに入射されるように光SW166rを切り替える。制御回路163rは、スペクトラムアナライザ165rから計測結果を受信する。そして、制御回路163rは、このスペクトラムアナライザ165rからの計測結果と専用回線を通して受信した信号から得た光送信局68から射出されたWDM方式光信号のスペクトルの情報とから、WDM方式光信号の波長依存性（傾き）を計算する。この計算結果が補償量SLに相当する。

【0184】制御回路163rは、設定されている各チャネルの光パワーになるようにALC142rに目標値を出力する。ALC142rは、PD128rからの出力を参照しながらVAT109rの減衰量を調整する。ここで、ALC142rに目標値である各チャネルの光パワーは、この光通信システムに光受信装置を設置する際に、メモリ164rに設定される。

【0185】そして、制御回路163rは、補正量SL（傾き）に対応するEDF105rおよびEDF115rの利得和を求め、この利得和になるようにEDF105rおよびEDF115rを調整する。この調整は、例えば、利得和を2:1にEDF105rおよびEDF115rに配分する。そして、制御回路163rは、AGC141rにEDF105rの利得を指示する。AGC141rは、PD122r、124rの出力を参照しながらLD123rの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF105rの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0186】制御回路163rは、AGC143rにEDF115rの利得を指示する。AGC143rは、PD126r、128rの出力を参照しながらLD127rの駆動電流の大きさを変更することによって指示された利得になるように制御する。このため、EDF115rの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0187】したがって、このような光増幅装置97では、AGC141r、143rによってEDF105r、115rの利得がほぼ一定に維持されるので、光増幅装置97の利得波長特性を補償量SLにすることができる。このため、光増幅装置94からDEMUX77に

38

射出されるWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0188】このように光伝送路62で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱を補償量SLで補償して光SNRを改善するので、中継間隔を長距離化することができる。そして、光送信局65と光受信局70との間も長距離化することができる。なお、第3の実施形態においては、各中継局69内の制御回路163rpおよび光受信局70内の制御回路163rによって、それぞれ補償量SLを計算したが、図11(b)に示すように、各中継局66内の制御回路163rpおよび光受信局70内の制御回路163rから、補償量SLを計算するのに必要な光送信局68から射出されるWDM方式光信号のスペクトル、各中継局69に入射されるWDM方式光信号のスペクトル、各中継局69から射出されるWDM方式光信号のスペクトルおよび光受信局70に入射されるWDM方式光信号のスペクトルを、一旦光送信局68内の制御回路163sに纏める。さらに、これらのスペクトルの情報をこの光通信システムを統括管理する監視制御回路175に集中させ、この監視制御回路175で各中継局69および光受信局70における補償量を計算させて、その結果を光送信局68内の制御回路163sを介して各中継局69および光受信局70に送信するようにしてもよい。

【0189】次に、別の実施形態について説明する。

（第4の実施形態の構成）第4の実施形態は、請求項1、請求項3、および、請求項12ないし請求項14ないし請求項16に記載の発明に対応する光通信システムの実施形態である。この光伝送システムは、C-bandの波長帯域（1530～1570nm）とL-bandの波長帯域（1570nm～1610nm）とにそれぞれ32波のWDM方式光信号を光送信局201で生成して、この光信号を複合光増幅装置を備える中継局203で多段中継し、光信号局で受信・処理するものである。

【0190】請求項12に記載の発明では、WDM方式光信号を次段の中継局に伝送する際に予め光伝送路の損失波長特性を補償する複合光増幅装置の発明である。一方、請求項13に記載の発明では、前段の中継局から伝送されて入射されるWDM方式光信号を伝送してきた光伝送路の損失波長特性で補償する複合光増幅装置の発明である。第4の実施形態では、まず、WDM方式光信号を次段の中継局に伝送する際に予め光伝送路の損失波長特性を補償する場合について説明し、前段の中継局から伝送されて入射されるWDM方式光信号を伝送してきた光伝送路の損失波長特性で補償する場合については、その変形形態として後述する。

【0191】図13は、第4の実施形態における光通信システムの構成を示す図である。図14は、第4の実施形態の光通信システムにおける複合光増幅装置の構成を

(21)

特開2001-244528

39

示す図である。図13において、64個のOS231-1~231-64のうちの32個のOS231-1~231-32は、C-bandにチャンネル1からチャンネル32に対応する光信号をそれぞれ生成する。生成された各光信号は、MUX232-1で波長多重されてC-bandにおける32波のWDM方式光信号となる。このC-bandのWDM方式光信号は、複合光増幅装置211に入射される。

【0192】また、64個のOS231-1~231-64のうちの32個のOS231-33~231-64は、L-bandにチャンネル33からチャンネル64に対応する光信号をそれぞれ生成する。生成された各光信号は、MUX232-2で波長多重されてL-bandにおける32波のWDM方式光信号となる。このL-bandのWDM方式光信号は、複合光増幅装置211に入射される。

【0193】これら複合光増幅装置211に入射されたC-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とは、それぞれ後述する補償装置SLの波長特性によって光増幅部233-1、233-2で増幅されてMUX234に入射される。

【0194】これらMUX234に入射したC-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とは、このMUX234で波長多重され、2波長帯域のWDM方式光信号となって光伝送路202-1に射出されて、次段の中継局203-1に伝送される。光伝送路202-1を伝送した2波長帯域のWDM方式光信号は、中継局203-1内の複合光増幅装置212-1に入射される。

【0195】複合光増幅装置212-1に入射された2波長帯域のWDM方式光信号は、DEMUXであるWDMカブラ240(図14)でC-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とに波長分離される。波長分離されたC-bandのWDM方式光信号は、後述する補償装置SLの波長特性によって光増幅部235-1で増幅されてMUXであるWDMカブラ250(図14)に入射される。また、波長分離されたL-bandのWDM方式光信号は、後述する補償装置SLの波長特性によって光増幅部235-2で増幅されてMUXであるWDMカブラ250に入射される。

【0196】これらWDMカブラ250に入射したC-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とは、このWDMカブラ250で波長多重され、再び2波長帯域のWDM方式光信号となって光伝送路202-2に射出されて、次段の中継局203-2に伝送される。2波長帯域のWDM方式光信号は、中継局203によって順次に増幅されて光受信局204に入射される。

【0197】光受信局204に入射された2波長帯域のWDM方式光信号は、複合光増幅装置213内のDEM

40

UX236に入射され、C-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とに波長分離される。波長分離されたC-bandのWDM方式光信号は、後述する補償装置SLの波長特性によって光増幅部237-1で増幅されて、DEMUX238-1に入射される。そして、C-bandのWDM方式光信号は、DEMUX238-1でチャンネルごとに波長分離され、各チャンネルは、それぞれ対応するOR239-1~239-32に入射されて受信処理される。

【0198】また、波長分離されたL-bandのWDM方式光信号は、後述する補償装置SLの波長特性によって光増幅部237-2で増幅されて、DEMUX238-2に入射される。そして、L-bandのWDM方式光信号は、DEMUX238-2でチャンネルごとに波長分離され、各チャンネルは、それぞれ対応するOR239-33~239-64に入射されて受信処理される。

【0199】次に、複合光増幅装置211、212、213について説明するが、まず、複合光増幅装置212について説明し、複合光増幅装置211、213については、複合光増幅装置212に対する相違点のみを説明する。図14において、複合光増幅装置212に入射された2波長帯域のWDM方式光信号は、WDMカブラ240に入射される。WDMカブラ240は、2波長帯域のWDM方式光信号をC-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とに波長分離する。分離されたC-bandのWDM方式光信号は、CPL241に入射される。

【0200】CPL241で分配された一方の光は、光SW264に入射される。また、CPL241で分配された他方の光は、CPL242に入射される。CPL242で分配された一方の光は、入射されたC-bandの波長帯域を増幅することができる光増幅器243に入射され、他方の光は、光増幅器243を所定の一定の利得に保持するように制御するAGC部255に入射される。

【0201】光増幅器243からの光は、CPL244に入射される。CPL244で分配された一方の光は、VAT245に入射され、他方の光は、AGC部255に入射される。

【0202】AGC部255は、CPL242からの光を受光してその光パワーを検出する。AGC部255は、CPL244からの光を受光してその光パワーを検出する。そして、AGC部255は、これら検出結果から光増幅器243の利得を判断し、この利得が制御回路261から指示された所定の利得になるように光増幅器243を制御する。

【0203】VAT245で減衰された光は、CPL246に入射される。CPL246で分配された一方の光は、入射されたC-bandの波長帯域を増幅することができる光増幅器247に入射され、他方の光は、光増

(22)

特開2001-244528

41

幅器247を所定の一定の利得に保持するように制御するAGC部257に入射される。光増幅器247からの光は、CPL248に入射される。CPL248で分配された一方の光は、CPL249に入射され、他方の光は、CPL258を介してAGC部257およびALC部256に入射される。

【0204】AGC部257は、AGC部255と同様に、CPL246からの光とCPL248からの光とを受光してそれぞれの光パワーを検出する。そして、AGC部257は、これら検出結果から光増幅器247の利得を判断し、この利得が制御回路261から指示された所定の利得になるように光増幅器247を制御する。CPL249で分配された一方の光は、WDMカブラ250に入射され、他方の光は、光SW264に入射される。

【0205】ALC部256は、CPL248およびCPL258を介して入射される光を受光してその光パワーを検出する。ALC部256は、この検出結果からC-bandのWDM方式光信号の出力光パワーを判断して、制御回路261によって指示された所定の出力光パワーになるようVAT245の減衰量を制御する。このようにして2波長帯域のWDM方式光信号のうちのC-bandにあるWDM方式光信号が増幅される。

【0206】同様に、WDMカブラ240で波長分離されたL-bandのWDM方式光信号は、CPL281、CPL282を介して光増幅器283に入射され増幅される。増幅された光は、CPL284を介してVAT285に入射され減衰される。減衰された光は、CPL286を介して光増幅器287に入射され増幅される。増幅された光は、CPL288およびCPL289を介してWDMカブラ250に入射される。

【0207】そして、CPL281で分配された光は、光SW264に入射される。CPL282およびCPL284で分配された光は、AGC部275に入射され、AGC部275は、AGC部255と同様に、これらの光の光パワーから光増幅器247の利得を判断し、この利得が制御回路261から指示された所定の利得になるように光増幅器283を制御する。また、CPL286およびCPL288で分配された光は、AGC部277に入射され、AGC部277は、AGC部255と同様に、これらの光の光パワーから光増幅器287の利得を判断し、この利得が制御回路261から指示された所定の利得になるように光増幅器287を制御する。

【0208】ALC部276は、CPL288およびCPL278を介して入射される光の光パワーからL-bandのWDM方式光信号の出力光パワーを判断して、制御回路261によって指示された所定の出力光パワーになるようVAT285の減衰量を制御する。そして、CPL289で分配された光は、光SW264に入射される。

42

【0209】光SW264は、CPL241からの光、CPL249からの光、CPL281からの光およびCPL289からの光のうちのいずれか1つを制御回路261の制御によって選択してスペクトラムアナライザ263に入射させる。スペクトラムアナライザ263は、入射する光の波長（周波数）とその波長における光の光パワーとを計測して、その結果を制御回路261に出力する。制御回路261は、スペクトラムアナライザ263から得たこの中継局203に入射されるC-bandおよびL-bandのWDM方式光信号のスペクトルなど、この光通信システムを適用する上で必要な保守情報、状態情報などの情報を監視信号として、前段の光送信局201における制御回路261あるいは前段の中継局203における制御回路261に送信する。また、制御回路261は、次段の光受信局204あるいは次段の中継局203に入射されるC-bandおよびL-bandのWDM方式光信号のスペクトルなどを監視信号を次段の光受信局204における制御回路261あるいは次段の中継局203における制御回路261から受信する。

【0210】メモリ262は、光増幅器243、247の利得値とその利得値における傾き（ $dG/d\lambda$ ）との関係、光増幅器283、287の利得値とその利得値における傾き（ $dG/d\lambda$ ）との関係、中継局203から光伝送路202に2波長帯域のWDM方式光信号を射出する際の出力光パワーなどを記憶する。メモリ262は、これらの記憶内容を制御回路261に出力したり、制御回路261で計算された値、スペクトラムアナライザ263の出力値、AGC部255、257、275、277の利得およびALC部256、276の目標値などを制御回路261から受信して記憶したり、その記憶内容を再び制御回路261に出力したりする。

【0211】光増幅器243、247としては、C-bandの波長帯域を増幅するエルビウム添加光ファイバ増幅器を利用することができる。また、光増幅器283、287としては、L-bandの波長帯域を増幅するゲインシフトエルビウム添加光ファイバ増幅器を利用することができる。なお、これらの主な相違は、エルビウム元素を添加した光ファイバの長さの相違にある。元々、エルビウム添加光ファイバは、1550nm波長帯域と1580nm波長帯域とに増幅帯域を有するが、1580nm波長帯域の増幅率が1550nm波長帯域の増幅率に較べ小さいので、1580nm波長帯域での光増幅を同程度に実現するためには、1550nm波長帯域の光ファイバ増幅器に較べ光ファイバ長を10倍程度長尺化する必要があるからである。

【0212】光送信局201内の複合光増幅装置211の構成は、C-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とは個別に生成されるので、上述の光増幅装置212の構成において、2波長帯域のW

(23)

特開2001-244528

43

44

DM方式光信号から各バンドに波長分解するWDMカブラ240を備えない構成である。そして、光受信局204内の複合光増幅装置213の構成は、増幅されたC-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とは個別に受信処理されるので、上述の複合光増幅装置212の構成において、C-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とを波長合波するWDMカブラ250を備えない構成である。

【0213】（本発明と第4の実施形態との対応関係）請求項1に記載の発明と第4の実施形態との対応関係については、光伝送路は光伝送路202に対応し、光増幅装置はそれぞれ光増幅部233-1、233-2、235-1、235-2、237-1、237-2に対応する。特に、光増幅部233-1、235-1、237-1は、CPL241、242、244、246、248、249、光増幅器243、247、VAT245、AGC部255、257、ALC部256、メモリ262、光SW264、スペクトラムアナライザ263および制御回路261に相当する。光増幅部233-2、235-2、237-2は、CPL281、282、284、286、288、289、光増幅器283、287、VAT285、AGC部275、277、ALC部276、メモリ262、光SW264、スペクトラムアナライザ263および制御回路261に相当する。

【0214】請求項3に記載の発明と第3の実施形態との対応関係については、第1光増幅手段は光増幅器243、283に対応し、光減衰手段はVAT245、285に対応し、第2光増幅手段は光増幅器247、287に対応し、光伝送路は光伝送路202に対応し、制御手段はAGC部255、257、283、287とALC部256、276と制御回路261とからなる部分に対応する。

【0215】請求項12に記載の発明と第4の実施形態との関係については、光増幅部は光増幅部233-1、233-2、235-1、235-2、237-1、237-2、光伝送路は光伝送路202に対応する。また、光増幅部の出力を波長多重する波長多重手段はWDMカブラ250である。請求項14および請求項15に記載の発明と第4の実施形態との対応関係については、光増幅部は光増幅部233-1、233-2、235-1、235-2、237-1、237-2に対応し、第1光増幅手段は光増幅器243、283に対応し、光減衰手段はVAT245、285に対応し、第2光増幅手段は光増幅器247、287に対応し、制御手段はAGC部255、257、275、277とALC部256、276と制御回路261とからなる部分に対応する。

【0216】特に、請求項15に記載の発明において、光伝送路202に入射される光のスペクトルを測定する部分は、この中継局203内（光送信局201内）のWDMカブラ250から光伝送路202へ射出されるWD

M方式光信号のスペクトルを測定するから、この中継局202内の複合光増幅装置212におけるCPL249、289と光SW264とスペクトラムアナライザ263である。そして、光伝送路202から射出される光のスペクトルを測定する部分は、次段の中継局203内（光受信局204内）のWDMカブラ240に光伝送路202から入射されるWDM方式光信号のスペクトルを測定するから、次段の中継局203内（光受信局204内）の複合光増幅装置212におけるCPL241、281と光SW264とスペクトラムアナライザ263である。

【0217】請求項16に記載の発明と第4の実施形態との対応関係については、光送信装置は光送信局201に対応し、光受信装置は光受信局204に対応し、光伝送路は光伝送路202に対応し、光中継装置は中継局203に対応し、複合光増幅装置は複合光増幅装置211、212、213に対応する。

（第4の実施形態の作用効果）次に、第4の実施形態の光通信システムの作用効果について説明する。

【0218】光送信局201内で生成されたC-bandのWDM方式光信号は、光増幅部233-1に入射され、生成されたL-bandのWDM方式光信号は、光増幅部233-2に入射される。光増幅部233-1において、制御回路261sは、メモリ262sに記憶されている各チャネルの光パワーになるようにALC部256sに目標値を出力する。ALC部256sは、CPL248s、258sを介して入射される光の光パワーを参照しながらVAT245sの減衰量を調整する。

【0219】そして、制御回路261sは、傾きがほぼ平坦になるように光増幅器243sおよび光増幅器247sの利得和を求め、この利得和を光増幅器243sおよび光増幅器247sに配分する。そして、制御回路261sは、AGC部255sおよびAGC部257sにそれぞれ利得を指示する。AGC部255sは、CPL242sおよびCPL244sから入射される各光の光パワーを参照しながら光増幅器243sの利得を指示された利得になるように制御する。このため、光増幅器243sの利得は、ほぼ一定に維持される。AGC部257sは、CPL246sおよびCPL248sから入射される各光の光パワーを参照しながら光増幅器247sの利得を指示された利得になるように制御する。このため、光増幅器247sの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0220】このように制御するので、C-bandのWDM方式光信号は、各チャネルの光パワーがほぼ同一のWDM方式光信号となって、WDMカブラ250sに射出される。同様に、L-bandのWDM方式光信号についても、光増幅部233-2において、制御回路261s、AGC部275s、277sおよびALC部276sによって各チャネルの光パワーがほぼ同一のWDM

(24)

特開2001-244528

45

方式光信号となって、WDMカブラ250sに射出される。

【0221】なお、WDMカブラ250において、C-bandのWDM方式光信号に対する損失とL-bandのWDM方式光信号に対する損失とに差があるときは、制御回路261sは、その差を考慮してALC部256s、276sにそれぞれ目標値を指示する。制御回路261sは、CPL249sからのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263sに入射されるように光SW264sを切り替える。制御回路261sは、スペクトラムアナライザ263sからこの計測結果を受信する。さらに、制御回路261sは、CPL289sからのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263sに入射されるように光SW264sを切り替え、制御回路261sは、スペクトラムアナライザ263sからこの計測結果を受信する。

【0222】そして、制御回路261sは、スペクトラムアナライザ263sから得たC-bandおよびL-bandのWDM方式光信号のスペクトルの情報、最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号および多量数をこの光通信システムを運用する上で必要な保守情報などとともに専用回線を用いて次段の中継局203-1の制御回路261rpに送信する。

【0223】このように制御するので、光送信局201から射出される2波長帯域のWDM方式光信号は、各チャネルの光パワーがほぼ同一のWDM方式光信号となって、光伝送路202-1に射出される。この2波長帯域のWDM方式光信号は、光伝送路202-1で伝送損失と誘導ラマン散乱によって各チャネルの光パワーが不均一となる。このため、中継局203-1では、傾斜のある2波長帯域のWDM方式光信号が入射される。入射された2波長帯域のWDM方式光信号は、WDMカブラ240で各バンドに波長分離される。

【0224】傾斜のある2波長帯域のWDM方式光信号を受信した中継局203-1において、制御回路261rpは、専用回線を通して受信した信号から最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号とを判断する。制御回路261rpは、メモリ262rpに記憶されている各チャネルの波長を用いて最長波長のチャネルの波長から最短波長のチャネルの波長を引いて、最長波長のチャネルと最短波長のチャネルとの波長間隔を計算する。

【0225】制御回路261rpは、CPL241rpからのC-bandのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263rpに入射されるように光SW264rpを切り替える。制御回路261rpは、スペクトラムアナライザ263rpから計測結果を受信する。さらに、制御回路261rpは、CPL281rpからのL-bandのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263rpに入射されるように光SW264rpを切り替え、スペクトラムアナライザ263rpから計測結果を受信する。

46

【0226】制御回路261rpは、このスペクトラムアナライザ263rpからの計測結果と専用回線を通して受信した信号から得た光送信局201から射出された2波長帯域のWDM方式光信号のスペクトルの情報とから、2波長帯域のWDM方式光信号の波長依存性（傾き）を計算する。この計算結果が補償量SLに相当する。なお、制御回路261rpは、これらのスペクトルから光伝送路202-1の伝送路長を求め、さらに、これらのスペクトルから（式1）ないし（式4）、および、（式10）を用いて、補正量SLを計算してもよい。

【0227】制御回路261rpは、設定されている各チャネルの光パワーになるようにALC部256rp、276rpに目標値を出力する。ALC部256rpは、CPL248rp、258rpを介して入射される光の光パワーを参照しながらVAT245rpの減衰量を調整する。ALC部276rpは、CPL288rp、278rpを介して入射される光の光パワーを参照しながらVAT285rpの減衰量を調整する。

【0228】ここで、ALC部256rp、276rpの目標値である各チャネルの光パワーは、この光通信システムに中継局202-1を設置する際に、メモリ262rpに設定される。特に、各チャネルの光パワーは、光伝送路202において非線形光学効果を起こさず且つ次段の中継局202まで十分に伝送することができる値に設定される。

【0229】そして、制御回路261rpは、補正量SL（傾き）に対応する光増幅器243rpおよび光増幅器247rpの利得和を求め、この利得和になるように光増幅器243rpおよび光増幅器247rpを調整する。この調整は、例えば、利得和を2:1に光増幅器243rpおよび光増幅器247rpに配分する。そして、制御回路261rpは、光増幅器243rpおよび光増幅器247rpの利得の和を一定に維持して且つ補正量SLの傾きになるそれぞれの利得の組み合わせをメモリ262rpに記憶されている利得Gと傾きとの関係から設定する。

【0230】制御回路261rpは、AGC部255rpに光増幅器243rpの利得を指示する。AGC部255rpは、CPL242rpおよびCPL244rpから入射される各光の光パワーを参照しながら光増幅器243rpの利得を指示された利得になるように制御する。このため、光増幅器243rpの利得は、ほぼ一定に維持される。AGC部275rpは、CPL246rpおよびCPL248rpから入射される各光の光パワーを参照しながら光増幅器247rpの利得を指示された利得になるように制御する。このため、光増幅器247rpの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0231】したがって、このような複合光増幅装置212-1では、AGC部255rp、275rpによって光増幅器243rp、247rpの利得がほぼ一定に維持されるので、C-bandのWDM方式光信号における利得波

(25)

特開2001-244528

47

長特性を補償量SLにすることができる。同様に、L-bandのWDM方式光信号についても、光増幅部235-2において、制御回路261s、AGC部275m、277mおよびALC部276mによってL-bandのWDM方式光信号における利得波長特性を補償量SLにすることができる。

【0232】このため、複合光増幅装置212-1(中継局203-1)から光伝送路202-2に射出される2波長帯域のWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。

【0233】また、制御回路261rpは、CPL249rpからのC-bandのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263rpに入射されるように光SW264rpを切り替え、スペクトラムアナライザ263rpからこの計測結果を受信する。さらに、制御回路261rpは、CPL289rpからのL-bandのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263rpに入射されるように光SW264rpを切り替え、スペクトラムアナライザ263rpからこの計測結果を受信する。

【0234】そして、制御回路261rpは、スペクトラムアナライザ263rpから得た各バンドのWDM方式光信号のスペクトルの情報、最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号および多重数をこの光通信システムを適用する上で必要な保守情報などとともに専用回線を用いて次段の中継局202-2の制御回路261rpに送信する。

【0235】中継局203-1からの2波長帯域のWDM方式光信号は、光伝送路202-2で伝送損失と誘導ラマン散乱によって各チャネルの光パワーが不均一となる。このため、中継局203-2では、傾斜のある2波長帯域のWDM方式光信号が入射される。各中継局203では、中継局203-1と同様に動作して順次に2波長帯域のWDM方式光信号を伝送する。この際に、光伝送路202で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱による2波長帯域のWDM方式光信号の波長依存性は、各中継局の複合光増幅装置212で補償される。

【0236】このため、中継局203から光伝送路202に射出される2波長帯域のWDM方式光信号における各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。傾斜のある2波長帯域のWDM方式光信号を受信した光受信局204において、制御回路261rは、専用回線を通して受信した信号から最短波長のチャネル番号と最長波長のチャネル番号とを判断する。

【0237】制御回路261rは、メモリ262rに記憶されている各チャネルの波長を用いて最長波長のチャネルの波長から最短波長のチャネルの波長を引いて、最長波長のチャネルと最短波長のチャネルとの波長間隔を計算する。また、制御回路261rは、CPL241rからのC-bandのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263rに入射されるように光SW264r

48

を切り替え、スペクトラムアナライザ263rから計測結果を受信する。そして、制御回路261rは、CPL281rからのL-bandのWDM方式光信号がスペクトラムアナライザ263rに入射されるように光SW264rを切り替え、スペクトラムアナライザ263rから計測結果を受信する。

【0238】制御回路261rは、このスペクトラムアナライザ263rからの計測結果と専用回線を通して受信した信号から得た前段の中継局203-mから射出された2波長帯域のWDM方式光信号のスペクトルの情報とから、2波長帯域のWDM方式光信号の波長依存性(傾き)を計算する。この計算結果が補償量SLに相当する。

【0239】制御回路261rは、設定されている各チャネルの光パワーになるようにALC256r、276rに目標値を出力する。ALC部256rは、CPL248r、258rを介して入射される光の光パワーを参照しながらVAT245rの減衰量を調整する。ALC部276rは、CPL288r、278rを介して入射される光の光パワーを参照しながらVAT285rの減衰量を調整する。

【0240】ここで、ALC部256r、276rの目標値である各チャネルの光パワーは、この光通信システムに光受信装置を設置する際に、メモリ262rに設定される。特に、各チャネルの光パワーは、DEMUX238-1、238-2の損失を考慮してOR239-1~239-64に最適な光パワーが入射されるように設定される。

【0241】そして、制御回路261rは、補正量SL(傾き)に対応する光増幅器243rおよび光増幅器247rの利得和を求め、この利得和になるように光増幅器243rおよび光増幅器247rを調整する。この調整は、例えば、利得和を2:1に光増幅器243rおよび光増幅器247rに配分する。そして、制御回路261rは、AGC部255rに光増幅器243rの利得を指示する。AGC部255rは、CPL242rおよびCPL244rから入射される各光の光パワーを参照しながら光増幅器243rの利得を指示された利得になるように制御する。このため、光増幅器243rの利得は、ほぼ一定に維持される。AGC部275rは、CPL246rおよびCPL248rから入射される各光の光パワーを参照しながら光増幅器247rの利得を指示された利得になるように制御する。このため、光増幅器247rの利得は、ほぼ一定に維持される。

【0242】したがって、このような複合光増幅装置212-1では、AGC部255r、257rによって光増幅器243r、247rの利得がほぼ一定に維持されるので、C-bandのWDM方式光信号における利得波長特性を補償量SLにすることができる。同様に、L-bandのWDM方式光信号についても、光増幅部23

5-2において、制御回路261s、AGC部275r、277rおよびALC部276rによってL-bandのWDM方式光信号における利得波長特性を補償量SLにすることができる。

【0243】このため、複合光増幅装置213からDEMUX238-1、238-2に射出される各バンドにおける各チャネルの光SNRは、ほぼ同一になる。このように光伝送路202で生じる伝送損失および誘導ラマン散乱を補償量SLで補償して光SNRを改善するので、中継間隔を長距離化することができる。そして、光送信局201と光受信局204との間も長距離化することができる。

【0244】なお、第4の実施形態においては、前段の中継局203（光送信局201）から射出される2波長帯域のWDM方式光信号のスペクトルを受信して、2波長帯域のWDM方式光信号に光伝送路202で生じた損失波長特性を各中継局203および光受信局204で補償したが、予め各中継局203および光送信局201で補償してから光伝送路202に2波長帯域のWDM方式光信号を射出するようにしてもよい。この場合には、予め補償する中継局203（光送信局201）では、後段の中継局203（光受信局204）に入射される2波長帯域のWDM方式光信号のスペクトルを受信するようにする。

【0245】この構成が、請求項13に対応する第4の実施形態の変形形態である。また、第4の実施形態においては、各中継局203内の制御回路261rおよび光受信局204内の制御回路261rによって、それぞれ補償量SLを計算したが、各中継局202内の制御回路261rおよび光受信局204内の制御回路261rから、補償量SLを計算するのに必要なスペクトルの情報を、一旦光送信局201内の制御回路261sに集める。さらに、これらのスペクトルの情報をこの光通信システムを統括管理する監視制御回路に集中させ、この監視制御回路で各中継局203および光受信局204における補償量を計算させて、その結果を光送信局201内の制御回路261sを介して各中継局203および光受信局204に送信するようにしてもよい。

【0246】なお、第1の実施形態ないし第4の実施形態においては、補償量SLを各実施形態における制御回路145、151、163、261および監視制御回路170、175で計算したが、予め伝送距離、多重数に応じて補償量SLを計算しておきこの計算結果をテーブルとして用意しておいてもよい。例えば、図15に一例を示す。

【0247】図15は、伝送路長および多重数（チャネル数）に応じた補償量SLのテーブルを示す図である。図15（a）は、第1の実施形態ないし第3の実施形態に利用することができる補償量SLのテーブルであり、図15（b）は、第4の実施形態に利用することができ

る補償量SLのテーブルである。ここで、図15を作成するに当たって、各チャネルの光パワーは、光通信システムの設計の際に設定される値なので、多重数および伝送路長に依らず所定の一定値としている。

【0248】第1の実施形態ないし第3の実施形態に利用される補償量SLのテーブルは、図15（a）に示すように、多重数を一定範囲の多重数ごとに区切り、伝送距離も一定範囲の伝送距離ごとに区切る。そして、この補償量SLのテーブルは、区切られた一定範囲の多重数および区切られた一定範囲の伝送距離のすべての組み合わせに対してそれぞれ補償量SLが設定されている。

【0249】また、第4の実施形態に利用される補償量SLのテーブルは、図15（b）に示すように、C-bandおよびL-bandにおいて、多重数を一定範囲の多重数ごとに区切り、伝送距離も一定範囲の伝送距離ごとに区切る。そして、この補償量SLのテーブルは、C-bandにおける区切られた一定範囲の多重数および区切られた一定範囲の伝送距離並びにL-bandにおける区切られた一定範囲の多重数および区切られた一定範囲の伝送距離のすべての組み合わせに対して補償量SLが設定されている。

【0250】このような補償量SLのテーブルは、メモリ146、152、164、262に記憶しておき、制御回路145、151、163、261および監視制御回路170、175は、補償量SLを計算する代わりにこの補償量SLのテーブルを参照して多重数および伝送距離に対応する補償量SLを検索するようにしてもよい。補償量SLのテーブルを利用することによって、計算する必要がないので、制御回路145、151、163、261および監視制御回路170、175の負担を軽減することができ、光増幅装置90、91、92、94、97および複合光増幅装置211、212、213を迅速に制御することができる。

【0251】そして、第1の実施形態ないし第3の実施形態においては、WDM方式光信号が32波を波長多重する場合について、第4の実施形態においては、64波を多重する場合について説明したが、これに限定されるものではない。WDM方式光信号の多重数は、任意の多重数（チャネル数）でよい。

【0252】また、第1の実施形態ないし第4の実施形態においては、光送信局61、65、68、201と光受信局64、67、70、204との間でWDM方式光信号の多重数が変わらない場合について説明したが、WDM方式光信号からチャネルを分岐・挿入する光分岐挿入装置（optical add/drop multiplexer）を2局間に備える光通信システムにおいても、（式1）ないし（式10）が成り立つので、本発明にかかる光増幅装置を利用することができる。そして、同様の理由によりリングネットワークにも本発明にかかる光増幅装置を利用することができる。

(27)

特開2001-244528

51

【0253】さらに、第4の実施形態においては、C-bandのWDM方式光信号とL-bandのWDM方式光信号とを波長多重した2波長帯域のWDM方式光信号について説明したが、これに限定されるものではない。複数且つ任意の波長帯域におけるWDM方式光信号を波長多重したn波長帯域のWDM方式光信号にも利用することができる。例えば、C-bandとS-band(1450nm~1490nm)とを波長多重してもよい。この場合において、S-bandの波長帯域を増幅する光増幅器として、トリウム添加光ファイバ増幅器(thulium-doped fiber amplifier)を利用することができる。

【0254】また、第1の実施形態ないし第4の実施形態において、中継局がWDM方式光信号から所定の光信号を分岐・挿入するADM(add/drop multiplexer)機能を持つ場合では、補償量(SL)の計算においてこのチャネル数の変化も考慮される。また、このチャネル数の情報は、例えば、OSCなどを用いて各局に送信すればよい。

【0255】

【発明の効果】請求項1ないし請求項10に記載の発明では、光伝送路の損失波長特性を光増幅装置の利得波長特性で補償するので、WDM方式光信号を受信する光受信局において各チャネルの光SNRをほぼ同一にすることができる。さらに、伝送距離を長距離化することができる。

【0256】そして、請求項12ないし請求項15に記載の発明では、光伝送路の損失波長特性を複合光増幅装置の利得波長特性で補償するので、WDM方式光信号を受信する光受信局において各チャネルの光SNRをほぼ同一にすることができる。さらに、伝送距離を長距離化することができる。また、請求項11および請求項16に記載の発明では、光伝送路の損失波長特性を利得波長特性で補償する光増幅装置および複合光増幅装置を中継局における光増幅器として用いるので、広波長帯域化および伝送距離の長距離化を可能にすることができる。

【0257】

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1ないし請求項10に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図2】請求項1ないし請求項16に記載の発明における利得波長特性と損失波長特性との関係を説明するための図である。

【図3】光増幅手段の利得と利得波長特性との関係を示す図である。

【図4】請求項12ないし請求項15に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図5】第1の実施形態の光通信システムの構成とWD

52

M方式光信号のスペクトルを示す図である。

【図6】第1の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。

【図7】第1の実施形態の光通信システムにおいて、中継局が4個の場合のレベルダイヤおよび光SNRを示す図である。

【図8】従来の光増幅装置を用いた中継局が4個の場合のレベルダイヤおよび光SNRを示す図である。

【図9】第2の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。

【図10】第2の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。

【図11】第3の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。

【図12】第3の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成を示す図である。

【図13】第4の実施形態における光通信システムの構成を示す図である。

【図14】第4の実施形態の光通信システムにおける複合光増幅装置の構成を示す図である。

【図15】伝送路長および多重数(チャネル数)に応じた補償量SLのテーブルを示す図である。

【符号の説明】

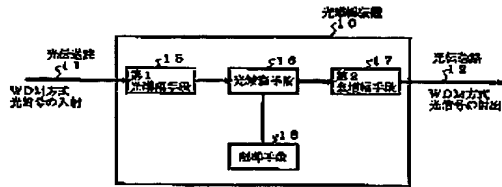
10、90、91、92、94、97 光増幅装置
11、12、25、26、62、202 光伝送路
15、35 第1光増幅手段
16、36 光源変手段
17、37 第2光増幅手段
18、38 制御手段
20、211、212、213 複合光増幅装置
21、233、235、237 光増幅部
61、65、68、201 光送信局
63、66、69、203 中継局
64、67、70、204 光受信局
105、115 エルビウム添加光ファイバ
122、124、126、128、129 PD
123、127 LD
141、143 AGC
142 ALC
145、151、163、261 制御回路
146、152、164、262 メモリ
165、263 スペクトラムアナライザ
170、175 監視制御回路
240、250 WDMカプラ
243、247、283、287 光増幅器
255、257、275、277 AGC部
256、276 ALC部

(28)

特開2001-244528

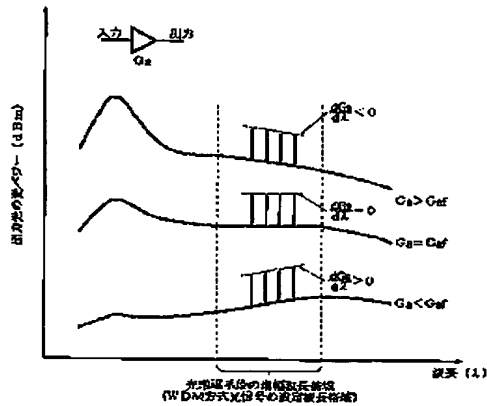
【図1】

図1は、図1に示す装置10に記録の原理の原理図



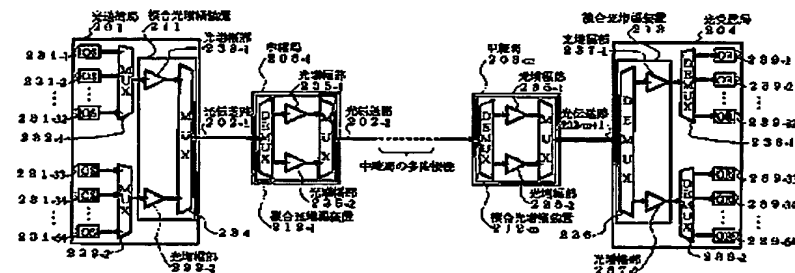
【図3】

光増幅手段の利得と共振特性との関係



【図13】

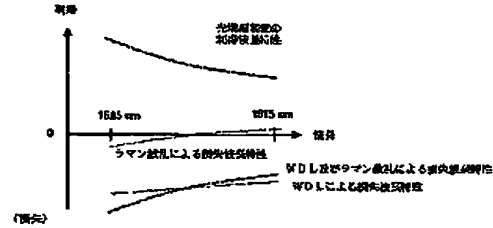
図13は、図13に示す装置10に記録の原理の原理図



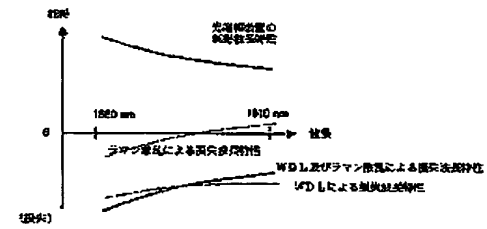
【図2】

図2は、図1に示す装置10に記録の原理の原理図

(a) C-bandの共振特性の場合



(b) L-bandの共振特性の場合

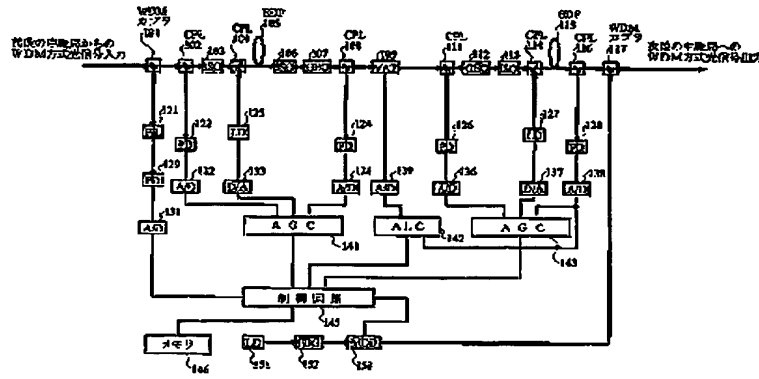


(30)

特開2001-244528

【図6】

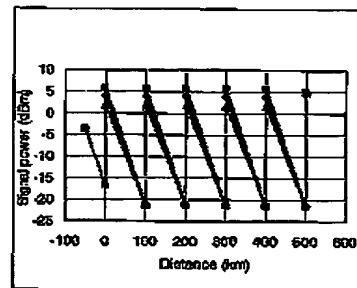
図1の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成



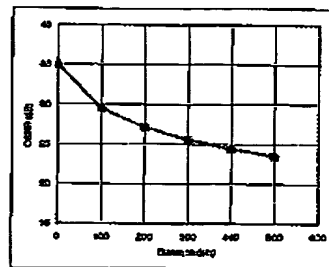
【図7】

図1の実施形態の光通信システムにおいて、中継増幅器を用いた場合のレベルダイヤと光S/N比

(a)



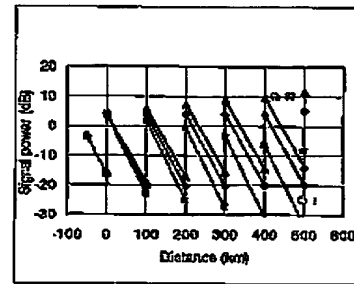
(b)



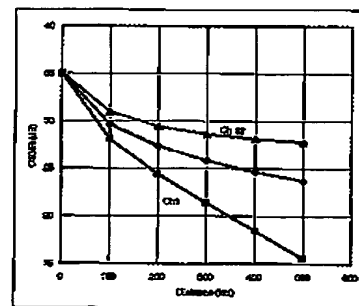
【図8】

従来の増幅装置を用いた中継増幅器を用いた場合のレベルダイヤと光S/N比

(a)



(b)

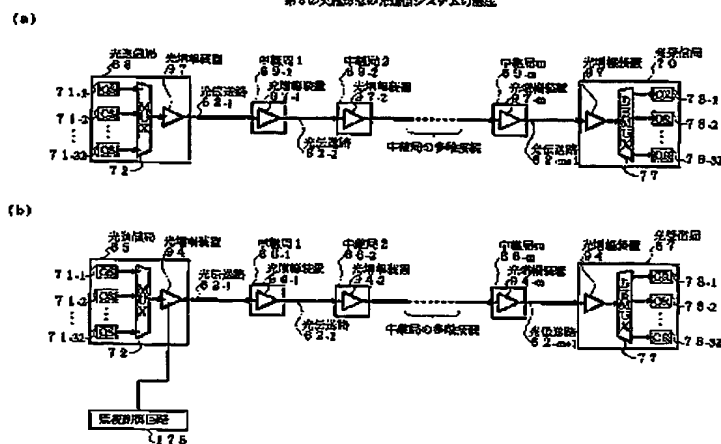


(32)

特開2001-244528

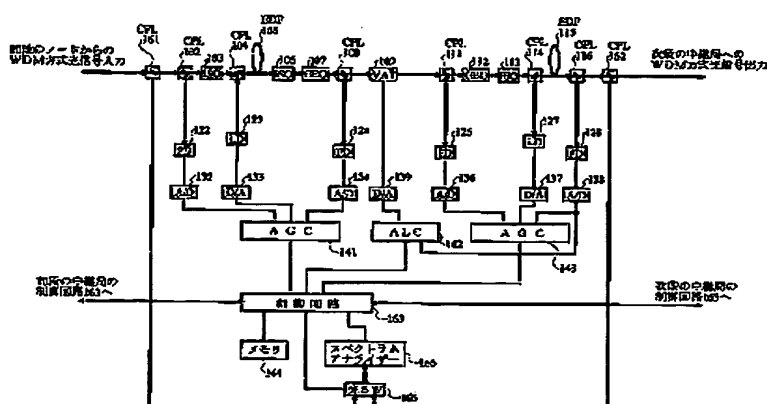
【図11】

第1の実施形態の光通信システムの構成



【図12】

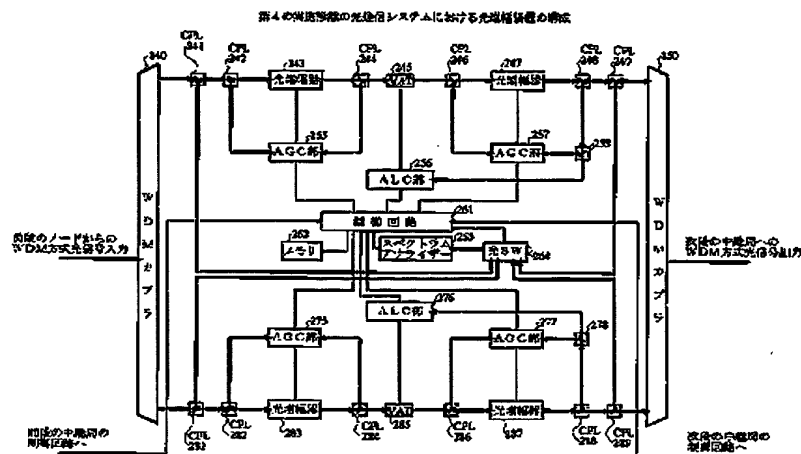
第2の実施形態の光通信システムにおける光増幅装置の構成



(33)

特開2001-244528

【图 14】



【图 15】

伝説部長および多田重雄（ジャーナル側）に依じた情報であり、

 $\{\Rightarrow\}$

多量院	0-20	25-50	50-75	75-100	100-125
2-8	0	0.2	0.3	0.5	0.4
9-16	0	0.3	0.4	0.6	0.7
17-24	0	0.4	0.5	0.7	0.8
25-32	0	0.5	0.6	0.8	0.9

(b)

分位数		分位数 (k)									
		0~25		25~50		50~75		75~100		100~125	
C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L
1~5	1~5	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6
	6~10	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.6	0.5	0.7
	11~15	0	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8
	16~20	0	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.8	0.7	0.9
6~10	1~5	0.2	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	0.5	0.7	0.6
	6~10	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7
	11~15	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8
	16~20	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
11~15	1~5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8	0.7
	6~10	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8
	11~15	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9
	16~20	0.4	0.5	0.6	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1
16~20	1~5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.9	0.8
	6~10	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1	0.9
	11~15	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1
	16~20	0.4	0.6	0.6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1

(34)

特開2001-244528

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

識別記号

F i

ターム(参考)

H 0 4 B 10/08

H 0 4 B 9/00

J

10/17

10/16

F ターム(参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10

HA23

5F072 AB09 AK06 JJ20 KK30 RR01

YY17

5K002 AA01 AA03 AA06 CA09 CA13

DA02 EA05 FA01